

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RELOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS DE
SERVICIO PÚBLICO TIPO TAXI DE UNA EMPRESA EN LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA.**

WILMER JOSÉ ARTETA BARRIOS

JHON JAIRO MERIÑO PÚA



UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILLA

2018

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RELOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS DE
SERVICIO PÚBLICO TIPO TAXI DE UNA EMPRESA EN LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA.**

Autores

WILMER JOSÉ ARTETA BARRIOS

JHON JAIRO MERIÑO PÚA

Trabajo presentado para cumplir requisito al título

Ingeniero Industrial

Tutor:

M.Sc. THALÍA OBREDOR BALDOVINO

Co-tutor:

M.Sc. CARLOS JAVIER URIBE MARTES

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILLA

2018

Agradecimientos

Inicialmente manifestamos nuestros agradecimientos a Dios, que nos brindó la salud, la sabiduría y la fortaleza para seguir cada día en el desarrollo de este trabajo, así mismo, le damos méritos a nuestros padres que fueron apoyo incondicional y moral en todo momento siendo una inyección de motivación para que sigamos con esa perseverancia que nos permite alcanzar nuestros objetivos. Finalmente agradecer a la empresa 3222222 satelital por la información proporcionada, a nuestros tutores, Thalia Obredor Baldovino y a Carlos Uribe Martes por ser guía constante en el desarrollo del proyecto y a los demás profesores del programa junto a nuestros compañeros de clase por ser pieza fundamental en nuestra preparación como profesionales.

Contenido

Resumen	9
Abstract	10
Capítulo 1: Descripción del proyecto	11
1.1 Introducción	11
1.2 Objetivos	13
Capítulo 2: Contexto y descripción del problema de estudio	14
2.1 Contexto y descripción del problema.	14
2.2 Justificación.	17
2.3 Metodología propuesta.	19
Capítulo 3: Marco referencial	23
3.1 Marco teórico.	23
3.2 Estado del arte.	36
3.3 Marco conceptual.	48
Capítulo 4: Caracterización del sistema de relocalización de los vehículos de servicio público taxi en una empresa en la ciudad de Barranquilla	50
4.1 Estudio de satisfacción de los usuarios frente al servicio público de taxi en la Ciudad.	50
4.2 Descripción de la empresa y funcionamiento del sistema de la prestación de servicio.	67
Capítulo 5: Desarrollo del modelo matemático de relocalización de los vehículos de servicio público taxi en una empresa en la ciudad de Barranquilla	80
5.1 Modelo de referencia.	80
5.2 Modelo propuesto.	81
5.3 Escenarios alternativos de prueba.	86

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RELOCALIZACIÓN	5
Capítulo 6: Análisis y resultados	91
6.1 Análisis de resultados obtenidos de la modelación.	91
6.2 Estrategias de mejoramiento para el sistema de relocalización del servicio público taxi.	98
Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros	101
8. Referencias	104
9. Anexos	111

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 1. Zonas y barrios definidos por la empresa de taxi satelital.	68
Tabla 2. Datos de la caracterización.	78
Tabla 3. Escenarios de experimentos del sistema de relocalización de taxi.	89
Tabla 4. Cantidad de vehículos tipo taxi y clientes para la ejecución de los escenarios.	90
Tabla 5. Comparación herramienta solver vs open solver	92
Tabla 6. Combinación nivel ciudad.	93
Tabla 7. Combinación nivel zonas	95
Tabla 8. Combinación nivel localidades	96
Tabla 9. Combinación nivel calles principales	97

Figuras

Figura 1. Proceso de desarrollo de la evaluación del sistema de relocalización de servicio público taxi.	22
Figura 2. Método de suma ponderada.	34
Figura 3. Análisis y dimensionamiento del servicio de taxi en una ciudad	43
Figura 4. Localidades de la ciudad de barranquilla.	50
Figura 5. Percepción suroccidente sobre seguridad en taxi	53
Figura 6. Situación de inseguridad utilizando vehículo de taxi suroccidente	54
Figura 7. Frecuencia de circulación de taxis en localidad de suroccidente	55
Figura 8. Representación de rechazo y aceptación de servicio por taxista suroccidente	57
Figura 9. Costo vs servicio brindado por el taxi suroccidente	58
Figura 10. Tiempo de respuesta al solicitar un servicio en suroccidente	59

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RELOCALIZACIÓN	7
Figura 11. Calificación del servicio de taxi localidad suroccidente	61
Figura 12. Nivel de seguridad que sienten los barranquilleros utilizando servicio de taxi	63
Figura 13. Experiencias de inseguridad utilizando taxi en la ciudad	63
Figura 14. Frecuencia de la circulación vehículos tipo taxi por la ciudad	64
Figura 15. Percepción de los barranquilleros frente a la negación del servicio por parte de los taxistas	64
Figura 16. Percepción de los ciudadanos de costo vs servicio brindado por el taxi	65
Figura 17. Percepción de los ciudadanos frente al tiempo de respuesta de vehículo tipo taxi	65
Figura 18. Calificación de los ciudadanos al sistema de servicio público de taxis de la ciudad	66
Figura 19. ¿Cómo funciona la central del 3222222 satelital?	70
Figura 20. Promedio servicios completados de enero a junio	74
Figura 21. Promedio servicios cancelados de enero a junio	74
Figura 22. Promedio de servicios no hay de enero a junio	75
Figura 23. Promedio de servicio por móvil	75
Figura 24. Total promedio de llamadas entrantes	76

Lista de anexos

Anexo A. Encuesta percepción del servicio público de taxi en Barranquilla	111
Anexo B. Instrumento para la recopilación de información de la empresa de taxi	113
Anexo C. Informe de gestión central de comunicaciones empresa 3222222 Satelital	114
Anexo D. Aplicación del modelo matemático con Open Solver	118
Anexo E. Call center 3222222 Satelital	119

Resumen

La mejora del servicio público que prestan los vehículos tipo taxi es obtenida a partir de la disminución de los tiempos de respuesta en cada servicio solicitado y en la cobertura máxima de la flota de taxis en la ciudad. Poseer una mejora en estos dos aspectos contribuye a la optimización del servicio, generando comodidad, seguridad, percepción positiva de los ciudadanos frente a este y aportando en el desarrollo y la calidad del transporte público en la ciudad. Por ello, en la presente investigación se evalúa el sistema de relocalización de vehículos tipo taxi en la ciudad de Barranquilla, haciendo inicialmente una evaluación sobre la percepción de los ciudadanos frente al servicio de taxi que ofrece la ciudad, seguido de la caracterización del sistema de relocalización actual de la empresa que se toma como objeto de estudio explicando detalladamente la manera en que la empresa ejecuta sus procedimientos basados en las políticas definidas por la compañía. Posteriormente se crea y desarrolla un modelo matemático para hacer el estudio del sistema de relocalización del que se desprenden varios escenarios de prueba que serán claves para el análisis de los resultados que permiten identificar la distribución de vehículos más idónea, dependiendo del comportamiento de los clientes en eventos particulares de la ciudad. Además se proponen diversas soluciones o estrategias que promueven al mejoramiento continuo del sistema de relocalización y asignación de vehículos tipo taxi, que aportan a la maximización de la cobertura de vehículos en la ciudad y la disminución de los tiempos de respuesta.

Palabras clave: *Cobertura, Tiempos de respuesta, Relocalización de vehículos, transporte público, taxi.*

Abstract

The improvement of the public service associated with taxi type vehicles is obtained from the decrease of response times in each requested service and the maximum coverage of the fleet of taxis in the city. Possessing an improvement in these two aspects contributes to the optimization of the service, creating comfort, safety, positive perceptions from the clients, thus contributing in the development and the quality of public transport in the city. Therefore, this research evaluates the relocation system of taxi type vehicles in the city of Barranquilla, initially doing an assessment on the perception of the citizens regarding the taxi service that offers the city, followed by the characterization of the current relocation system of the company which is taken as an object of study explaining, in detail, the manner in which the company executes its procedures based on policies defined by the company. Subsequently, a mathematical model is created and developed in order to make the study of the system of relocation that involves several test scenarios that will be key to the analysis of the results that identify the most suitable distribution of vehicles, depending on the behavior of customers in particular events in the city. In addition, the different solutions or strategies, that are proposed, promotes the continuous improvement of the relocation and assignment system for type taxi vehicles, contributing to maximize the coverage of vehicles in the city and the decline of response times.

Keywords: *coverage, response times, relocation of vehicles, public transport, taxi.*

Capítulo 1: Descripción del proyecto

1.1 Introducción

El transporte público con el pasar de los años se ha convertido en una necesidad cada vez mayor, generando naturalmente un incremento en la demanda que pone en evidencia el requerimiento de estrategias para cumplir con un servicio de calidad y efectividad; no siendo una excepción para la prestación de servicio de taxis en la ciudad de Barranquilla, en el que los usuarios exigen una mejora en aspectos específicos como tiempo de respuesta, comodidad y bienestar durante la utilización del servicio; dejando en evidencia el incumplimiento de varios de estos aspectos, sin dejar de lado los problemas de tráfico e infraestructura vial; trayendo consigo consecuencias que impactan fuertemente en la rentabilidad y efectividad del servicio.

Por lo anterior, se hace una evaluación referente al sistema de asignación y relocalización de vehículos tipo taxi en la ciudad de Barranquilla, para evidenciar los aspectos que tienen en cuenta las empresas que prestan este servicio y las diversas alternativas de mejoramiento para el incremento en la calidad del servicio, garantizando la preferencia de los clientes a la utilización de vehículos tipo taxi. Por ello la necesidad de encontrar siempre las estrategias que lleven a ofrecer un mejor servicio de transporte en la ciudad de Barranquilla, pues el desconocimiento sobre ruteo, atención al cliente, mejoramiento continuo y planeación estratégica acarrea o provoca la obsolescencia de los procesos actuales del sistema de relocalización de vehículos de servicio de taxi.

Teniendo en cuenta lo anterior, para alcanzar los objetivos propuestos, el presente proyecto de grado se ha estructurado de la siguiente forma: en el capítulo II se expone el contexto del problema y la metodología aplicada para el desarrollo de la investigación, el capítulo III manifiesta la teoría que comprende el tema relacionado a la relocalización y asignación de

vehículos tipo taxi en la ciudad. En el capítulo IV se desarrolla la caracterización y evaluación del sistema de relocalización de taxis en Barranquilla, logrando evidenciar la percepción de los clientes del servicio de taxis en la ciudad, así como cada uno de los aspectos, detalles y política que considera la empresa de taxis tomada para el estudio y desarrollo del proyecto.

El capítulo V incluye la creación del modelo matemático a partir de la recopilación y estudio de modelos de referencia, en el que se construye el modelo y los diversos escenarios de prueba con la finalidad de alcanzar los objetivos de maximización de cobertura y minimización de tiempos de respuesta que ayuden al incremento de la eficiencia y otros aspectos para la empresa prestadora de taxis. El capítulo VI contiene los resultados y análisis de estos, en el que se manifiestan los resultados de la modelación matemática gracias la utilización de una herramienta software y los escenarios de prueba que ayudan a identificar en base al análisis cual es la mejor estrategia que permita el cumplimiento de los objetivos, llegando finalmente al capítulo VII a las conclusiones y trabajos futuros relacionados al tema desarrollado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

- Diseñar una propuesta de mejoramiento para el sistema de relocalización de vehículos de servicio público taxi de una empresa en la ciudad de Barranquilla.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el sistema de relocalización de los vehículos de servicio público taxi de una empresa en la ciudad de Barranquilla.
- Evaluar el sistema de relocalización de los vehículos de servicio público Taxi de una empresa en la ciudad de Barranquilla, mediante un modelo matemático de localización móvil.
- Plantear una propuesta de mejoramiento para el sistema de relocalización de los vehículos de servicio público taxi de una empresa de servicio de taxis en la ciudad de Barranquilla.

Capítulo 2: Contexto y descripción del problema de estudio

2.1 Contexto y descripción del problema.

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de transportarse de un lado para otro, de tal manera que al pasar de los años se han desarrollado mecanismos que facilitan y satisfacen dicha necesidad, aprovechando los distintos medios de transporte, sea terrestre, marítimo, fluvial, aéreo, etc.

Ocaña (2016) ve como prioridad la seguridad y la eficiencia del transporte público de taxi con la utilización de aplicaciones móviles para lograr que el usuario realice la respectiva verificación de los vehículos autorizados que están en operación, realizar solicitudes de servicio a taxis registrados y comunicar a las autoridades una emergencia en caso de llegar a presentarse. Así mismo, tiene el propósito de brindar un servicio de taxi de manera segura, rápida y confiable, siendo un servicio de intermediación entre los taxistas registrados legalmente que cuenten con un dispositivo móvil y los usuarios que quieran utilizar el servicio de taxi. Además, Pozo (2014) infiere que en los últimos años se ha venido incrementando el tema de inseguridad en cuanto a medios de transporte se trata. Es por ello que con la elaboración de una aplicación web con tecnología GPS se pretende manejar el tema de gestión de los clientes de una empresa de servicio de taxis, realizando el despacho eficiente y seguro de carreras mediante el GPS instalado, gestionando todo el registro de información necesario del cliente y el vehículo registrado por la empresa de taxi. Todo esto realizándose para el control de información y proporcionarle garantías al usuario de un servicio confiable y garantizado.

Así mismo Salazar (2003) se enfoca en la necesidad de la realización de un reordenamiento del transporte vehicular de taxis que logren disminuir los tiempos perdidos que han ido aumentando al momento de transitar en una ciudad, manifestando que existen alternativas para

los taxis independientes donde estos puedan contar con los servicios de una plataforma de comunicaciones de acuerdo a las exigencias normativas vigentes en el que se ve reflejado por medio de la alta demanda en las grandes ciudades y la competencia creciente de empresas que están optando por un modelo de servicios de administración y gestión de los servicios de taxi por medio de aplicaciones móviles, generando así la utilización de las tecnologías como métodos para optimización de procesos e incremento en la efectividad y productividad del servicio prestado por los taxistas, logrando un incremento en sus ingresos así como la optimización en tiempos de respuesta a los clientes solicitantes.

En el caso de Barranquilla, uno de los medios de transporte más utilizados en la cotidianidad por las personas que residen en la ciudad en general es el servicio público de taxis, puesto que es uno de los servicios más comunes, rápidos, eficaces, relativamente de fácil acceso y algo costosos, pero no siempre satisfactorios para toda la población. En efecto, Barranquilla no es una excepción en la alta demanda de estos vehículos tipo taxi en los que se han presentado múltiples situaciones de inconformismo referentes a los aspectos mencionados anteriormente que describen el servicio, causando insatisfacción a muchos usuarios que residen en la ciudad para acceder a este tipo de transporte.

Para una persona que busca dirigirse a su sitio de destino requiere utilizar alguno de los medios de transportes que se encuentran disponibles en la ciudad, pero de los más comunes y accesibles son los vehículos tipo taxis. En una encuesta realizada se manifiesta que: “de 1.212 hombres y mujeres mayores de 18 años de edad, de los estratos 1 al 6, el 41% de los encuestados afirmó que percibe que sus trayectos duran más que el año pasado. La encuesta tiene un margen de error del 2,8% para el total de la muestra, con un 95% de confianza”. (“¿Cómo va Barranquilla según sus habitantes?”, 2017, sección Local, Párr.4)

Los resultados de la encuesta manifiestan cierta inconformidad por parte del usuario respecto al servicio de taxi que se presta en la ciudad de Barranquilla, en los que se podría ver envuelta la infraestructura vial, tráfico y la cobertura la cual es insuficiente en gran parte de la ciudad.

En la ciudad se encuentran activos un estimado de 17.000 vehículos según el último censo en los cinco municipios del área siendo Soledad, Malambo, Puerto Colombia, Galapa y Barranquilla tenidos en cuenta para abarcar toda la población de la ciudad, lo que indica la falta de cobertura por parte de este servicio público (‘‘AMB asume como autoridad del transporte público individual, tipo taxi’’, 2017).

A consecuencia de la cantidad de población por cubrir el conductor podría sentirse sometido a una alta carga de presión, lo que provocaría que en ocasiones los taxistas alcancen un nivel de estrés que les dificultaría seguir en su labor, además la delincuencia en Barranquilla es un problema que no se ha podido minimizar considerablemente y los usuarios no se sienten seguros en los taxis que abordan por miedo que resulten ser hurtados, es por ello que se han notado en varias zonas de la ciudad la ausencia de estos vehículos por culpa de la inseguridad y trae como consecuencia la inconformidad de los usuarios.

Para las empresas de taxi de la ciudad de Barranquilla controlar o resolver la problemática de inconformidad del servicio es sumamente complicado. Sin embargo deben mejorar los siguientes puntos que son de fundamental interés para los usuarios barranquilleros.

- ✓ La seguridad.
- ✓ La cobertura del sistema de transporte.
- ✓ Los tiempos de respuesta.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera el tema de localización o relocalización de instalaciones móviles como los diferentes procesos que se ejecutan para evaluar un sistema de transporte a partir de las ubicaciones geográficas de un determinado vehículo o conjunto de ellos para cumplir con una misión en particular y realizar un análisis del comportamiento de este sistema que por consiguiente lleve a brindar estrategias de mejoramiento para la optimización de los problemas que respectan al sistema de taxis en la ciudad, como la modelación matemática o la simulación.

De acuerdo a esto se abrió el siguiente interrogante:

¿Cómo se puede aumentar la cobertura del sistema de transporte proporcionando tiempos de respuesta rápidos para los usuarios de las empresas de servicios públicos de taxis?

2.2 Justificación.

En la actualidad, la mejor manera de hacer más eficiente el proceso de asignación o relocalización de vehículos de taxi en la ciudad de Barranquilla, es que siempre hayan móviles disponibles o en la gran mayoría de los casos, a partir del cumplimiento de tiempos y distancias recorridas, con el fin de cumplir con la demanda y lograr la satisfacción de los clientes, esto logrado con la implementación de estrategias de mejoramiento al sistema de relocalización de taxis, como aprovechamiento de zonas horarias, eventualidades o sucesos muy particulares en la ciudad, manejando la oferta de vehículos disponibles a los lugares potenciales de servicios, logrando la cobertura máxima de cada uno de los puntos clave de la ciudad.

Sin embargo, los taxis enviados a cada uno de los clientes o usuarios solicitantes no pueden cumplir con el servicio por factores como la distancia o disponibilidad del vehículo, puesto que un vehículo solo puede tomar el servicio si cumple con estos dos puntos, puesto que un vehículo a grandes distancias del cliente provocaría tiempos de espera prolongados, pocas garantías de

buen servicio y satisfacción del cliente, así como pérdidas de probables servicios más cercanos, aumentando el índice de servicios incumplidos.

En este orden de ideas, la perspectiva que se tiene de las estrategias para el mejoramiento del servicio va enfocado a la inclusión de tecnología, herramientas, automatización u otro tipo de elementos que generen una mejora en el sistema de relocalización o despacho de los vehículos tipo taxi, así como Arias y Mora (2011) apoyan la idea a partir de que en la actualidad es importante para el incremento de una empresa de servicio de transporte tipo taxi la inclusión y utilización de tecnologías que faciliten y automaticen la operación logística de estas compañías, es por ello que realizan la implementación de un modelo operativo para la optimización del despacho de vehículos de una empresa de taxis, por medio del uso del GPS, teniendo en cuenta los indicadores de gestión de la central, en el que se mide la restricción en la atención de las solicitudes telefónicas que realizan las personas al no satisfacer la gran mayoría de estas, utilizando solamente radiofrecuencia, es por ello que la innovación tecnológica para el uso de nuevas herramientas es fundamental, permitiendo incrementar la capacidad de respuesta de la central, por medio del GPS logrando la asignación del vehículo en menor tiempo y con un panorama más claro de la cercanía del vehículo a punto donde es solicitado haciendo flexible el escalamiento frente a las necesidades futuras del mercado, logrando con este cambio, efectividad, agilidad y seguridad para los clientes y conductores.

Así mismo Cano, Muñoz y Solarte (2010) defienden el hecho de que la toma adecuada de decisiones en una empresa es fundamental la calidad y consistencia de la información y dentro de la calidad del servicio se encuentra un importante factor como lo es la agilidad en el servicio prestado, como lo son los tiempos de respuesta logrando la satisfacción del cliente. En una sociedad tan competitiva, las empresas buscan mejorar sus procesos y dichos procesos están

ligados al modelo de negocio, es por esto que una implementación de un software a la medida, que satisfaga unos requerimientos precisos de gestión de información y de mejoramiento en los tiempos de servicio son de gran ayuda para la obtención oportuna de información necesaria para el proceso administrativo y el mejoramiento de los servicios ofrecidos por las empresas de servicio de taxi.

A partir de esto se puede notar que los servicios se pierden por el hecho de las malas decisiones y gestiones logísticas como la ineficiente o nula redistribución de los vehículos por la ciudad partiendo de que las empresas que prestan este servicio de taxi no generan estrategias de control de cobertura provocando zonas desabastecidas de móviles, logrando el incumplimiento en tiempos de respuesta y pérdidas de servicios.

Basado en lo anterior, se puede afirmar que la planificación de estrategias, uso de herramientas, e implementación de metodologías son importantes en el crecimiento y desarrollo de una compañía de transporte, logrando la optimización de los procesos del sistema de asignación de vehículos tipo taxi que impactarían en el mejoramiento continuo. Así mismo, la caracterización y evaluación del sistema dará lugar al mejoramiento de diversos aspectos como minimización de tiempos de respuesta, seguridad, rentabilidad económica y cobertura máxima, creando una solución sostenible para las empresas prestadoras de servicio de taxi haciéndolas más competitivas que promuevan el incremento de la productividad del negocio.

2.3 Metodología propuesta.

Inicialmente se realizó una revisión literaria que incluyó libros y artículos científicos para conocer cómo en varios escenarios se ha estudiado y modelado el tema respectivo a localización de instalaciones móviles, y en qué situaciones o escenarios han sido los más comunes para aplicar modelos, reconociendo así las aplicaciones en todo el mundo y en Colombia, teniendo en

cuenta las necesidades específicas de cada aplicación de las instalaciones móviles, como costos, cobertura, flota vehicular y tiempos de respuesta. Así mismo se realizó la recopilación de la información base para la construcción de la información objetiva del proyecto.

Con la identificación y recopilación de la información, se ideó que el proyecto debía dar foco a la problemática de inconformismo del servicio público de taxis de la ciudad, ejerciendo el estudio desde el punto de vista de brindar estrategias o ideas de mejoramiento para las empresas de servicio de taxi. Por consiguiente se procedió a realizar la evaluación de la percepción de los barranquilleros frente al tema, realizando el instrumento recopilatorio para la ejecución de la encuesta enfocada a reconocer las problemáticas más importantes por las cuales las personas califican el servicio de taxis de la ciudad y el análisis de resultados de dicha encuesta enfocada a reconocer las inconformidades al respecto del servicio. Por consiguiente se desarrolló la búsqueda de referentes nacionales e internacionales sobre el sistema de relocalización de taxis.

Así mismo, se tomó como objeto de estudio una de las empresas más reconocidas en la ciudad y más antiguas prestando el servicio de taxis, de la cual se logró extraer información, datos, indicadores, resultados y contenido de todo tipo como herramienta de ayuda para conocer más sobre el negocio y de la operación del servicio que ellos prestan para los habitantes de la ciudad.

Para la modelación propuesta se tomó como referencia un artículo llamado ‘‘Diseño de un modelo matemático para el despacho de vehículos de emergencias médicas en Colombia’’ de Rengifo, Baldoquín y Escobar (2012). Como base por lo ofrecido y desarrollado en dicho artículo, haciendo el estudio de tiempos de respuesta y optimización de recursos con el servicio de las ambulancias en Cali, por medio de un modelamiento matemático, dando la oportunidad de mejorar la atención médica a domicilio, logrando la efectividad de los recorridos para lograr

atender a los pacientes en los momentos oportunos, siendo este artículo mencionado como base de la investigación para proceder a realizar el modelo matemático, ajustándolo a las características encontradas en el servicio de taxi de la ciudad y generando un análisis de los resultados en la modelación, dando así creación de un escenario de mejora que da producto a la creación de estrategias de mejoramiento relacionadas a la optimización de tiempos de respuesta y cobertura en la ciudad para las empresas de servicio público tipo taxi en la ciudad de Barranquilla. Se puede observar con mayor claridad en la figura 1 la metodología aplicada para el desarrollo de este trabajo. (p. 2)

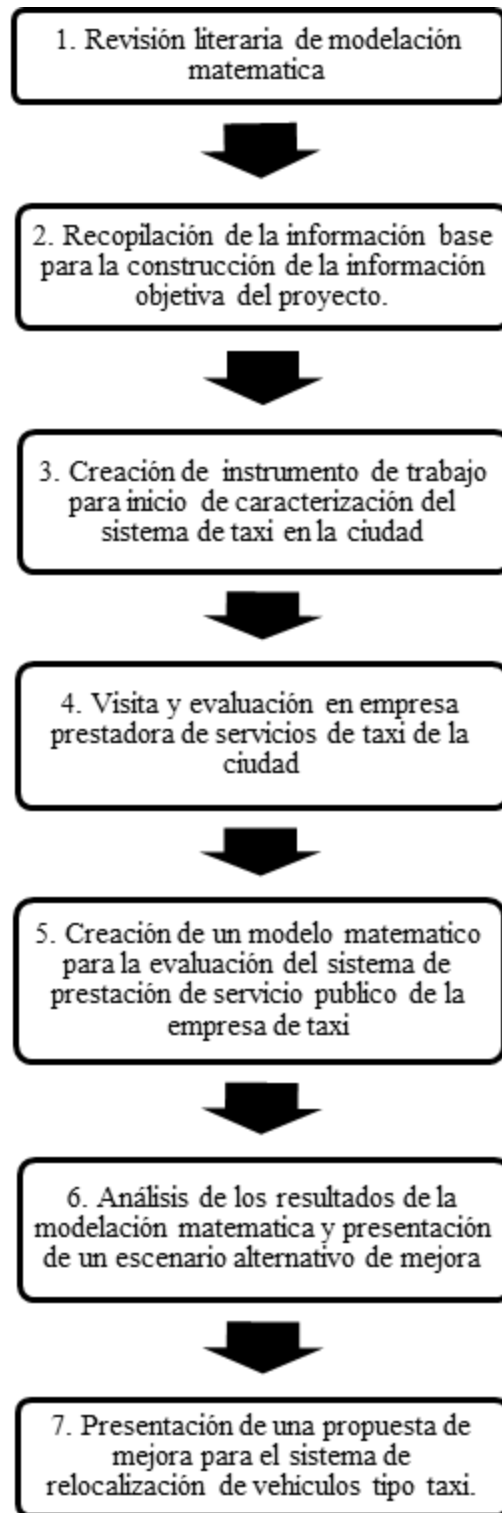


Figura 1. Proceso de desarrollo de la evaluación del sistema de relocalización de servicio público taxi. Elaboración propia.

Capítulo 3: Marco referencial

3.1 Marco teórico.

En la investigación de los problemas de localización de instalaciones móviles se han abierto muchos criterios y aspectos para analizar, puesto que el problema es referente al análisis de cubrimiento, tiempos más rápidos de respuesta y rentabilidad.

3.1.1 *Relocalización de instalaciones móviles.*

Contextualizando en el tema, ‘‘La relocalización de instalaciones móviles hace referencia a los procesos que se hacen para elegir un lugar geográfico en el cual se efectuarán las operaciones de una empresa o de un servicio en específico’’ (Carro y González, 2012, p.1). Los gerentes o encargados de las organizaciones de empresas o servicios tienen que tener en cuenta muchos factores que envuelven y evalúan la conveniencia de un lugar.

Las decisiones sobre la localización de instalaciones sean fijas o móviles deben tener presentes múltiples criterios que generalmente se relacionan a costos, tiempos de respuesta, rentabilidad, competitividad, oportunidad de aprovechamiento a la cercanía de determinados lugares u otro tipo de factores en los que se desenvuelva la compañía o la institución que lleve a cabo la actividad de localización.

Carro y Gonzalez (2012) señalan que las decisiones de hacer una óptima localización de instalaciones móviles tiene dos razones fundamentales por las cuales se debe estudiar; costo, ya que las instalaciones debe cumplir ciertos parámetros estipulados por la empresa o instituciones, y en segundo lugar se tiene la capacidad competitiva ya que una buena elección e implementación abre paso al desarrollo de nuevas y optimas operaciones que apoyen la efectividad de cualquier empresa. (p. 4)

La localización de instalaciones móviles lo señalan Carro y Gonzalez (2012) que tiene inconvenientes, entre ellos se tiene la localización de servicios de emergencias o prestación de servicios en el que sea vital la disponibilidad constante, y el factor fundamental de este frecuentemente se relaciona con el tiempo de respuesta, cobertura y efectividad. Este tipo de problemas ocurren en muchísimos departamentos del estado como son la policía, bomberos, servicios de taxi, hospitales entre otros. Es por ello que se efectúa realizar mediciones y caracterizaciones al problema del servicio que se suministra contando con criterios como el tiempo, cercanía de lugares y rentabilidad, ante cualquier tipo de emergencias. (p. 7)

Los modelos de localización de instalaciones han sido utilizados en una gran parte de ocasiones en el diseño y optimización de sistemas para la prestación de servicios de salud. En particular, una de las decisiones que ha sido estudiada considerablemente es la localización de ambulancias para la atención de emergencias.

Para Carro y González (2012) existen diversas causas que originan problemas o situaciones de estudio relacionados a la localización de instalaciones móviles, dentro de las que comprenden:

- ❖ La presión de la competencia que, para aumentar el nivel de servicio ofrecido, puede llevar a la creación de más instalaciones o a la relocalización de algunas existentes.
- ❖ Un mercado de expansión, el cual requerirá añadir o expandir la capacidad, la cual habrá que localizar ampliando lo existente, puesto que es necesario considerar el impacto que tendrá sobre el sistema total de instalaciones de la empresa. (p.2)

El ámbito adecuado para el problema de ubicación de instalaciones es incluir todos los movimientos del servicio y sus costos asociados a medida que éstos se presentan, desde las ubicaciones de la planta o una central o algún punto de partida principal, hacia las ubicaciones del cliente. Por lo tanto, debe pensarse qué función desempeñará cada instalación, los procesos

que se realizarán, su ubicación y capacidad, al igual que los mercados a atender cada instalación y las fuentes de suministro. Para que haya un buen manejo estratégico debe haber un diseño de red logístico, en el que la distribución y la tecnología jueguen un papel fundamental para suplir la demanda de los usuarios o clientes.

Zambrano (2012) expone que una de las decisiones más importantes que las organizaciones deben tomar es el hecho de considerar la localización de instalaciones, plantas y centros de distribución o centrales de monitoreo en los mercados globalizados tal como operan en la actualidad. Esa decisión aporta a que los planes estratégicos y resultados de una compañía sean exitosos. Por el contrario, se puede fracasar en el intento de competir en la complejidad de los mercados actuales, los cuales se caracterizan por el alto número de competidores, proliferación de productos, servicios, avance tecnológico y sistemático de algunas empresas, entre otro tipo de aspectos en los cuales se puede ver envuelta una compañía sin encontrar el camino que lo lleve al desarrollo y crecimiento de los servicios ofrecidos a cumplir con efectividad. (p. 4)

El transporte, la distribución y todo aquello relacionado con el cumplimiento de un servicio tiene aspectos que dentro de las organizaciones colombianas representan el mayor número de ineficiencias en la labor logística sobre los cuales debería ponerse la mayor atención y prepararse para la alza de demanda que en cualquier momento se pueda presentar, proponiendo estrategias de mejoramiento en la localización y distribución clave de instalaciones móviles. Sin embargo cabe destacar, que un alza en los costos asociados a estas operaciones logísticas, no es efecto directo de una mala administración en la medida que este comportamiento también puede estar asociando a la atención y satisfacción de las necesidades del cliente.

Rodríguez (2016) define: La localización consiste en la ubicación de un vehículo en un punto fijo, de tal manera que se encargue de una zona de atención, y al cual debe volver al

finalizar la prestación de un servicio. La relocalización, por otro lado, se da cuando se cambia la ubicación asignada a un vehículo con el propósito de mejorar en tiempo real la cobertura del servicio. Mientras que los problemas de localización suelen ser resueltos a nivel estratégico, los problemas de relocalización son principalmente de nivel operativo y deben ser resueltos en un corto periodo de tiempo. Esto último hace que generalmente los problemas de relocalización sean más complejos que los de localización. (p.6)

La mayoría de los estudios consideran los mismos componentes para el diseño de los modelos, los cuales son: objetivos considerados en los modelos, la demanda, políticas o reglas de despacho, las características de los vehículos, las velocidades, distancias y tiempos de viaje y las reglas para la selección del lugar de destino.

Haghani & Yang (2007) manifiestan que el desarrollo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones e informática han hecho posible el desarrollo y utilización de diferentes métodos para estudiar los problemas de relocalización de los vehículos, como son los sistemas de posicionamiento geográfico (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG). Todo esto ha permitido obtener y procesar en tiempo real los datos necesarios para trabajar los problemas de relocalización de vehículos y gracias a esto es posible controlar la posición y el estado de los vehículos en un momento dado. (p.133)

3.1.1.1 Modelos matemáticos y herramientas para el problema de relocalización de instalaciones móviles. Iniciando desde la idea de que Guzmán, Masegosa, Pelta y Verdegay; (2014) exponen que los problemas de relocalización de instalaciones móviles tienen un desarrollo de modelos que han permitido la resolución de estos, los investigadores utilizan modelos matemáticos de optimización, de simulación y meta-heurísticas. Entre los modelos de simulación existentes se encuentran la simulación de eventos discretos, la simulación basada en

agentes y la dinámica de sistemas. El considerar cuál de los esquemas utilizar, depende del nivel de abstracción que se quiera tener del sistema. (p. 5)

Sin embargo Guzmán et al. (2014) manifiestan que existen modelos matemáticos para la resolución de problemas de localización, como lo son, el problema de localización de máxima cobertura (Maximal Covering Location Problem – MCLP). En el cual se busca maximizar la demanda cubierta dentro del tiempo máximo de servicio por un número predeterminado de servidores que se necesitan para cubrir todos los nodos de demanda, superará el número que en realidad se puede construir (por presupuesto y otras razones). (p. 6)

Este tipo de problema de localización de máxima cobertura considera un conjunto discreto de puntos o nodos y un peso asociado a cada punto, el cual representa su nivel de importancia. Se considera también un conjunto discreto de puntos donde se pueden localizar las instalaciones o servidores. El objetivo es encontrar las mejores ubicaciones para un número de instalaciones de manera que se maximice la demanda cubierta con una distancia predefinida o tiempo crítico. Han usado un enfoque determinista, es decir, se reconocen los parámetros del problema, se pueden encontrar muchas situaciones reales y se pueden presentar incertidumbres en sus elementos. (Guzmán et al., 2014, p. 8)

Los elementos que presentan una mayor incertidumbre en este problema son la demanda generada en los nodos, la distancia entre nodos, la disponibilidad del servicio y el radio de cobertura. Cabe aclarar, que en algunos problemas se considera distancia física y en otros, distancia en tiempo. Esta diferenciación hace que el radio de cobertura se manifieste como tiempo de respuesta en algunos trabajos en los que la distancia se mide en tiempo.

Los modelamientos de los problemas de máxima cobertura tienen dos enfoques: el enfoque probabilístico y el enfoque basado en técnicas difusas. El primero modela los datos inciertos mediante distribuciones de probabilidad, mientras que el segundo usa conjuntos difusos. Infieren Guzmán et al. (2014) que los modelos difusos para la resolución de incertidumbre en problemas de localización de máxima cobertura tienen ciertas características y aspectos en los que se han aplicado dichos modelos, como lo son los modelos con demanda difusa basado en colas para determinar las ubicaciones de las unidades de servicios que darán asistencia a la demanda generada por emergencias a gran escala, tales como, terremotos, ataques terroristas, etc. (p. 3)

Existen también los modelos con distancia difusa, los cuales abordan el problema de la localización de vehículos de servicios de emergencias y se propone un modelo de localización multiobjetivo basado en la programación por metas difusas para resolverlo teniendo unos objetivos fundamentales, los cuales son para garantizar la calidad del servicio y estos son: La maximización de la población cubierta por un vehículo, la maximización de la población con cobertura adicional y la minimización de la distancia total de viaje desde localizaciones a una distancia mayor que una distancia predefinida. (Guzmán et al., 2014, p.4)

Guzmán et al. (2014) definen: Los modelos con disponibilidad de servicios difusas buscan la posibilidad para desarrollar un modelo de localización de cobertura máxima difuso basado en colas. Aplica un algoritmo de evolución diferencial para resolver el problema. (p.4). Así mismo se ven los modelos con radio de cobertura difusa donde Davari (2013) señala el radio de cobertura como un número difuso triangular donde la cobertura depende del tráfico de la red, de las condiciones del clima, de la topografía de la zona y de algunos otros factores que varían con

el tiempo. En este trabajo se implementa una meta heurística de búsqueda por entornos variable (VNS) para resolver el problema.

Conscientes de las limitaciones que tiene ignorar la ocupación de los servidores, Gendreau (1997) expone el desarrollo del concepto de doble cobertura en el cual se maximiza el número de zonas de demanda cubiertas por más de un vehículo. De esta manera se considera implícitamente la ocupación del sistema al maximizar la posibilidad de tener una ambulancia que pueda responder cuando la ambulancia principal más cercana se encuentra ocupada. En otra dirección se encuentran los modelos de localización que consideran explícitamente la ocupación de las ambulancias. El primero de estos modelos fue el Problema de Localización de Máxima Cobertura Esperada (Maximum Expected Coverage Location Problem) –MEXCLP) donde Daskin (1983) lo define como en el que se maximiza la demanda cubierta ponderada por la disponibilidad del servicio. La cual se calcula a través de la estimación global del nivel promedio de ocupación para cada ambulancia. A su vez, la ocupación del sistema permite establecer la confiabilidad del servicio en cada nodo de demanda, teniendo en cuenta el número de ambulancias localizadas dentro del tiempo de respuesta deseado. (p. 49)

El Problema de Localización de Máxima Disponibilidad (Maximum Availability Location Problem –MALP) ReVelle & Hogan (1989) además de considerar la confiabilidad del sistema, introduce una nueva medida de cobertura, mediante la estimación de niveles de ocupación local, que dependen del número de vehículos (Ambulancias, taxis, o cualquier tipo de servicio que preste) la demanda agregada en cada zona de la ciudad. (p. 194)

Numerosas extensiones han sido introducidas a estos modelos, por ejemplo, el Problema de Localización de Máxima Cobertura con Estimación Local de la Confiabilidad (Local Reliability-based Maximum Expected Coverage Location Problem – LR-MEXCLP) es una combinación

del MEXCLP y el MALP en el que la ocupación es calculada por zona y por número de servidores (ReVelle & Hogan, 1989, p. 194).

En la resolución de problemas de relocalización se han utilizado mucho métodos, de los cuales se evidencian según Rodríguez (2016) que expone la simulación para eventos discretos, optimización a partir de modelos matemáticos, meta heurísticas – Heurísticas, con objetivos de investigación en común, como son maximizar la demanda cubierta en un tiempo T, minimizar el tiempo total de relocalización, evaluar políticas de relocalización de los vehículos, etc. (p.12)

En el caso de la simulación, Gendreau (2001) utilizó un modelo de relocalización de doble cobertura para maximizar la demanda cubierta, es decir garantizar la cobertura de la demanda al menos dos veces dentro de un radio de acción en el cual el vehículo se puede mover en un tiempo T establecido. (p.12)

Para el caso de simulación de eventos discretos, este tipo de simulación es el más utilizado para resolver problemas de relocalización, permitiendo describir de manera directa e indirecta situaciones en las que una o varias entidades (usuarios, ambulancias, médicos, etc.) deben esperar y a continuación brindar o recibir un servicio para después salir del sistema, en el caso de los modelos matemáticos; estos se utilizan para encontrar la solución a problemas de optimización tales como maximizar la demanda cubierta o minimizar el número de relocalizaciones. (Rodríguez, 2016, p. 13)

Sin embargo, la aplicabilidad de los modelos matemáticos presenta limitaciones importantes para resolver problemas actuales, los cuales son cada vez más complejos. Yue, Marla, & Krishnan (2012) muestran que a menudo los modelos matemáticos no logran caracterizar completamente la dinámica del despacho de las ambulancias, vehículos de servicio y cualquier tipo de atención de eventos que se relacionen a transporte vehicular. En particular, no logran

captar las características como los tiempos de viaje en función del tiempo, los patrones de congestión y la alta variabilidad en el tiempo de viaje. (p. 400)

3.1.2 Problemas de optimización multiobjetivo.

Los problemas, casos o escenarios que se presentan en una determinada situación, no siempre tienen una única solución, y por ende no hay un criterio medible que logre una solución satisfactoria, por el contrario, los problemas de este tipo, contienen múltiples criterios que han de satisfacerse o que han de ser tenidos en cuenta.

Los problemas de optimización de rutas de vehículos se modelan normalmente como un problema de optimización con un único objetivo, que en ocasiones busca minimizar el coste de llevar alguna mercancía a unos destinos, al tiempo que se satisfacen ciertas restricciones. No obstante, en la vida real se pueden tener en cuenta otros factores, como son: la minimización de distancias, minimizar tiempos de espera, buscar un equilibrio en las cargas de trabajo (tiempo, distancia, etc.) (Molina, 2016, p. 48)

Molina (2016) señala que los problemas donde se consideran más de un objetivo se les denomina Problemas Multiobjetivo, y su propósito es optimizar todos los objetivos de forma simultánea, donde la mayoría de las veces, se encuentran en conflictos, siempre se quiere encontrar la mejor solución posible o una buena aproximación de ésta, dado un conjunto de limitaciones o restricciones. (p.48)

Los problemas de optimización multiobjetivo (POM) son posibles formularlos de la siguiente manera:

$$\text{POM} = \{ \min F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \}$$

Sujeto a $x \in X$

Dónde:

- $n \geq 2$ es el número de funciones objetivo.
- $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_r)$ es el vector de variables de decisión.
- X es el espacio de soluciones factibles. X es definido habitualmente como el conjunto de restricciones.
- $F(x)$ = Es el vector objetivo o la Función objetivo (Molina, 2016, p. 48).

En los procesos de toma de decisiones, bajo el concepto de optimización, Cuartas (2009) señala que ha sido necesario tener en cuenta varios objetivos de manera simultánea. (p. 2) En este tipo de problemas no se cuenta con una única solución, sino con un conjunto de soluciones que son óptimas o cercanas a serlo, puesto que finalmente se debe escoger una única solución, el decisor debe hacer uso de sus preferencias con respecto a los criterios que se están evaluando para seleccionar la solución que más se ajusta a sus intereses. Dependiendo la forma como esté interesado en involucrar sus preferencias, si antes, durante o después del proceso de optimización, el decisor podrá resolver su problema multiobjetivo con una técnica específica.

Los problemas de optimización multiobjetivo se basan en encontrar dos soluciones pero siempre priorizando una de ellas, teniendo en cuenta qué busca el decisor y que desea manifestar con dicho resultado de optimización (Cuartas, 2009, p. 3).

Una solución es eficiente cuando no es dominada, es decir, cuando es al menos tan buena como las otras en todos sus objetivos y es mejor en al menos uno de ellos (Abbass, 2001, p. 7).

Ramos (2012) por su parte, apunta a que los problemas de optimización multiobjetivo o también llamado multicriterio, son presentados como casos particulares en los que se busca no solo cumplir con un objetivo, sino de tener múltiples soluciones para la optimización de alguna situación en especial, pues no hay coincidencias del óptimo para los diferentes objetivos.

Dentro de las maneras de dar solución a los problemas de optimización multiobjetivo se encuentran los métodos clásicos los cuales son utilizados dependiendo al tipo de problema que se quiera resolver. (p. 15)

3.1.2.1 Método de la suma ponderada. Según Villarreal (2015) El método se basa fundamentalmente en asociar un peso a cada función objetivo y minimizar la suma ponderada de los objetivos. Éste transforma el problema de multiobjetivo a mono-objetivo o único objetivo. Si se realiza la variación de manera sistemática se puede encontrar un conjunto de soluciones no dominadas. (p. 20)

Las soluciones del problema mediante el método de la suma ponderada son al menos Pareto débil. Una solución es Pareto débil si al mejorar en un objetivo no necesariamente se empeoran o afectan otros objetivos. La solución del problema de la suma ponderada es estrictamente Pareto si todos los pesos son positivos.

Zadeh (1963) manifiesta que puede haber casos en que las soluciones obtenidas no sean eficientes, por el hecho que se busca dar solución u optimizar dos objetivos, así mismo los pesos no tienen nada que ver con las preferencias del decisor. (p. 59)

Cuando hay muchos objetivos, la información es excesiva para los decisores, para esto se tienden a ignorar los objetivos menos importantes, y a tratar incoherentemente el resto.

Villarreal (2015) define: El método de la suma ponderada, en el que se optimizará el valor obtenido mediante la suma de los valores correspondientes a los distintos objetivos, multiplicados cada uno por un coeficiente de peso, estos coeficientes establecerán la importancia relativa de cada objetivo. El problema de optimización multiobjetivo se transforma así en otro de optimización escalar, que para el caso de la minimización será de la forma:

$$\min \sum_{i=1}^k w_i f_i(x)$$

Siendo $w \geq 0$ que son los pesos que ponderan la importancia de cada una de las k funciones objetivo del problema. (p. 23)

Infiriendo así:

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1$$

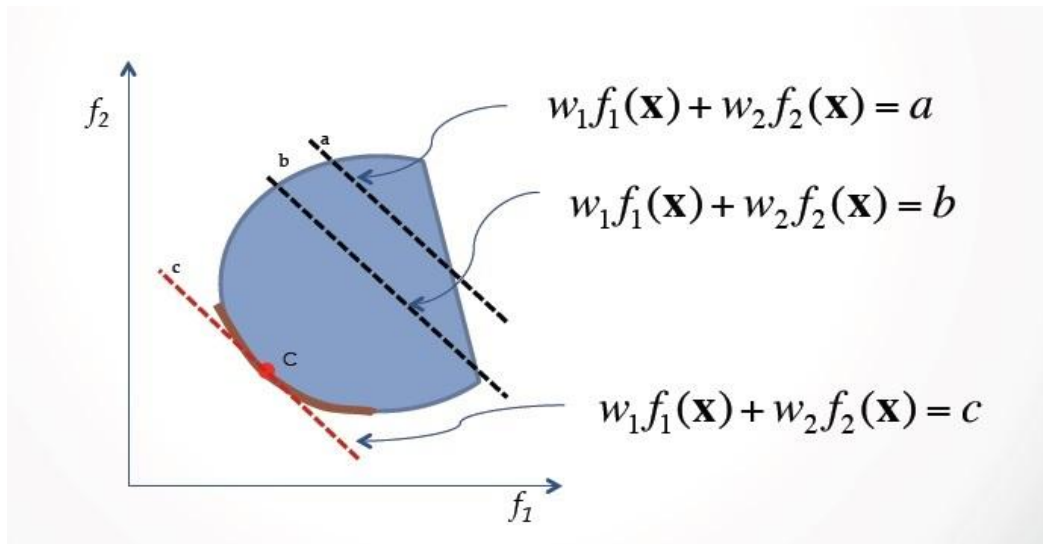


Figura 2. Método de suma ponderada. Elaborado por: Villarreal. 2015.

Este método parece presentar una fácil utilización y simplicidad y en problemas convexos se pueden presentar todas las soluciones de la Frontera Pareto, pero tiene desventajas como que dos vectores de pesos diferentes no necesariamente llevan a 2 soluciones eficientes diferentes.

3.1.2.2 Optimización preferente o lexicográfica. Este método de optimización, las funciones objetivo se organizan en orden de importancia o preferencia, Infieri Villarreal (2015) que este método se enfoca en ir resolviendo una serie de problemas mono-objetivo secuencialmente, empezando por el objetivo de mayor importancia hasta el de menor importancia. En cada interacción, el valor óptimo encontrado para cada objetivo es añadido como restricción en los

problemas subsecuentes. De esta manera se puede preservar el valor óptimo de los objetivos con mayor importancia. (p. 24)

Este tipo de optimización tiene la ventaja en que la solución obtenida es Pareto óptima, así también no requiere que las funciones objetivo sean normalizadas. Sin embargo, este método requiere resolver muchos problemas de optimización para obtener una solución, teniendo en cuenta que se resuelve por cada objetivo y los problemas suelen ser complicados para resolver por las restricciones que se empiezan a manifestar (Villarreal, 2015, p. 24).

Este método tiene una aplicación secuencial en el que Villarreal (2015) manifiesta que se resuelve la función objetivo sujeto a las restricciones de la primera prioridad posteriormente en una segunda etapa o segundo nivel. Se realiza el mismo procedimiento anterior sujeto a las restricciones de la segunda prioridad pero teniendo en cuenta también los valores obtenidos en el primer nivel y así sucesivamente hasta completar la resolución de todos los objetivos. (p. 25)

3.1.2.3 Programación por metas. Es actualmente uno de los enfoques multicriterio que más se utilizan y utilización de este método en sus inicios fue dirigida a resolver problemas industriales, sin embargo posteriormente se ha extendido a muchos otros campos la aplicación de este (Vergara y Quesada, 2009, p. 26)

Este método consiste en definir una meta en el espacio de búsqueda, y definir variables que midan la diferencia de la evaluación de un punto cualquiera al punto meta, definiendo dos variables por cada objetivo. El método de la programación por metas hace del problema multicriterio en un problema de optimización tradicional. Entrega un solo punto que está en el frente de Pareto, si la meta elegida no está en el rango de las evaluaciones; Requiere una exploración del espacio de soluciones (Vergara y Quesada, 2009, p. 26).

Establece Vergara y Quesada (2009) una relación de igual valor entre los objetivos al equiparar una distancia entre ellos, en esta estrategia se considera un conjunto de metas a satisfacer para cada función objetivo, buscando minimizar la diferencia entre la solución actual y el vector de metas deseables, estas técnicas son también denominadas de métodos agregativos y bajo ciertas condiciones pueden generar porciones no convexas del frente de Pareto. (p. 27) La principal ventaja consiste en su simplicidad y su eficiencia computacional, puesto que no se requiere un proceso de jerarquización de Pareto.

Por otra parte, su principal desventaja consiste en la dificultad de establecer las metas deseables. Como también bajo ciertas circunstancias se pueden tener resultados ambiguos. La programación por metas tiene de fondo una filosofía que se llama “satisfaciente”, lo que quiere decir que no tiene por qué haber una obligatoriedad de satisfacerlo, sino que se ubican cuáles son las metas más relevantes y se intenta que acercar lo más posible a los niveles de aspiración.

3.2 Estado del arte.

Para la resolución del tema referente a la relocalización de instalaciones móviles o despacho y control de vehículos, se ha tenido en cuenta gran cantidad de métodos para dar respuesta y analizar a los problemas de este concepto que tiene el objetivo de incrementar en la efectividad de los servicios de transporte, pues Delgado (2012) presenta una solución alternativa al problema de atención de emergencia en la ciudad de Bogotá, buscando soluciones que cumplen con la cobertura completa de los límites de la ciudad. Además, tratando de tener una mejor calidad del servicio y para dar oportunidades a todos los ciudadanos en tiempos de respuesta más bajas o los que se espera por lo menos. Y, mediante la aplicación de modelos de localización deterministas, P-centros y simultáneas instalaciones de localización, utilizando la aplicación informática

GAMS para resolver el resultante problema de programación lineal entera mixta. Frente al problema y teniendo en cuenta la extensión del área urbana y el número de eventos por mes, se estipula 30 generadores de demanda y se considera 60 candidatos bases, con el único propósito de mantener rangos de acción para hacer frente a las situaciones de emergencia se mantienen en cualquier lugar para brindar respuesta menor a 10 minutos. (p. 44)

En la indagación por revisar las diferentes maneras y modelos de implementación para la resolución de los problemas de caracterización, Parra (2010) realiza un artículo recopilatorio de las diversas formas de dar solución a todo este tema de localización y relocalización de vehículos para atención de emergencias entre los cuales se encuentran los sistemas de atención de emergencias médicas, de reparación de fallas en la prestación de servicios públicos, y de control de incendios que por consiguiente deja ciertas tendencias de trabajos futuros y retroalimentación con los diversos modelos que propone para la temática publicada como sugiere que el área donde se requiere mayor trabajo en la actualidad y hacia futuro, es en la implementación de estas herramientas para el tratamiento de problemas de localización y relocalización en tiempo real. Utilizar tipos de modelos enfocados en la atención de emergencia puesto que tiene un potencial complejo, sustancial y relevante que se puede ver reflejado a mediano y largo plazo. Las aplicaciones de modelos por el problema de localización de instalaciones móviles no solamente se centra en la reducción de costos de operar dichos sistemas, sino por el incremento en la cobertura y la mejora en los tiempos de atención que se podrían alcanzar si se utilizan herramientas de apoyo para la toma de decisiones. (p. 194)

La aplicación de los modelos matemáticos relacionados a la localización de instalaciones ha llevado a proporcionar estrategias de mejoramiento del servicio prestado en las ambulancias en la ciudad de Cali en los que Rengifo et al. (2012) diseñaron un estudio sobre el servicio de las

ambulancias y como se distribuían en la ciudad para atender a las diversas solicitudes que se presentan, basándose en un modelo matemático para proporcionar un análisis referente al sistema actual en el que se desempeña el servicio de los vehículos de emergencia para brindar mejoras dicho servicio. (p. 3)

Haciendo una revisión en específico sobre el tema de taxis, Niebles (2013) realizó un análisis de estrategias para la disminución de tiempos de respuesta en el servicio de despacho de taxis en Colombia, con el fin de representarlo en una simulación, logrando la utilización de herramientas tecnológicas para mejorar el sistema de localización de servicios de taxi en la ciudad de Bucaramanga, desde el momento en que el usuario solicita el servicio y es despachado por la central. La convergencia de tecnologías aplicables en el ámbito del servicio de transporte urbano ha revolucionado la manera tradicional en que las empresas de taxis gestionan el servicio de despacho de vehículos a los usuarios, especialmente las tecnologías como GPS. De otro lado, la competencia permanente de las empresas por lograr el mayor número de afiliaciones de taxis ha llevado a buscar la optimización en la prestación del servicio, especialmente orientada a la satisfacción de los usuarios en términos de un menor tiempo de respuesta, lo cual se traduce en una preferencia de los usuarios por la empresa con mayor nivel de servicio, esto a su vez, conduce a más afiliaciones de taxis en busca de un mayor número de servicios y por ende a la expansión de la empresa. (p. 3)

Teniendo en cuenta esto mencionado anteriormente Niebles (2013) exploró la aplicación de ventanas de tiempo en conjunto con otras estrategias de asignación. Las ventanas de tiempo se refieren a la conformación de bloques de usuarios, previo a la asignación de taxis. Se estudió el efecto de la duración de esas ventanas en la eficiencia del sistema, así como su aplicación en conjunto con otras reglas de asignación de taxis para mejorar la eficiencia del sistema de

despacho realizando varios escenarios para notar diversos comportamientos y que emplearía información de geo posicionamiento de taxis en tiempo real para su asignación a los usuarios en los que tuvo en cuenta factores como distancia entre nodos, velocidad de circulación de taxis, duración de carreras, probabilidad para la frecuencia de las llamadas, distribución de ubicación de taxis disponibles y tiempos de respuesta montando varias estrategias para cumplir con el objetivo, como ventanas de tiempo variables, tiempo de respuesta máximo variable, movilización controlada de los taxis hacia zonas de mayor demanda entre otros. (p. 4)

El análisis y dimensionamiento del servicio de taxis se ve envuelto en muchos países y ciudades del mundo y Colombia en el que la demanda de vehículos de servicio público es muy grande, y que no alcanza a ser proporcional a las dimensiones de una ciudad y la cantidad de ciudadanos de dicha zona, la metodología propuesta consiste en recopilar los parámetros y variables utilizadas en el análisis de eficiencia del servicio de taxi, tal como es ofrecido y percibido por los ciudadanos, buscando determinar las condiciones óptimas del mercado. Con lo cual se calcula la rentabilidad económica del taxista y se minimiza un sistema de coste. Paralelo a esto se desarrolla una herramienta informática que facilite un mejor análisis del servicio.

En el tema internacional referente al tema de relocalización, Sanz (2015) en España realiza unos modelos de cubrimiento para todo lo relacionado con problemas de localización concretamente se centra en la optimización de los servicios sanitarios de emergencia en Castilla y León. Los problemas son resueltos mediante el entorno de modelización y optimización Xpress, también utilizando heurísticas y meta-heurísticas para así demostrar que estos modelos son útiles para optimizar o mejorar un problema de localización. (p. 6)

Dentro del campo logístico, el estudio del problema de la localización de instalaciones es un tema en el que Ortega (2008) implementó métodos como las meta heurísticas y diversas técnicas

de ellas para analizar problemas de localización de instalaciones de logística inversa en España, en el problema estocástico. (p. 8)

Por su parte, Reyes (2015) se enfocó en localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre en el caso de las inundaciones en que el objetivo principal era obtener un mínimo tiempo de operación, teniendo en cuenta variables como tiempos de llegada y atención, siempre y cuando teniendo presente factores como infraestructura, velocidad de respuesta, tamaño de la población afectada entre otros. Los modelos aplicados fueron los heurísticos, en que menciona este autor son considerados como la mejor herramienta para determinar planes de respuesta y de preparación en caso de situación de emergencia. (p. 4)

Reconocer e investigar acerca de las localizaciones de instalaciones móviles abarca diversos ítem y clasificaciones, tipos y métodos, principalmente basados en el alto grado de complejidad, Carro y González (2012) comentan que diseñar o implementar modelos para resolver problemas de localización de instalaciones móviles tiene mucho que ver con los elementos que estos contengan, siendo los tres modelos básicos de computación expuestos por ellos son los heurísticos, la simulación y la optimización. (P. 12)

Surge la preocupación por el control de instalaciones móviles en ambulancias, generando una propuesta referente a la creación de un modelo de programación por objetivos para determinar el mínimo número de vehículos requeridos para la atención de emergencias en Riyadh City, Arabia Saudita, así como la localización de los mismos, con un componente probabilístico en la cobertura de los puntos de demanda (Alsalloum, 2006).

Para la problemática de instalaciones móviles se complementa el uso de algoritmos genéticos para la localización actual de móviles en un servicio médico de emergencia

(Emergency medical services), junto con un pronóstico del crecimiento de la demanda futura para evaluar la localización potencial de los vehículos de emergencias bajo el escenario proyectado en la prefectura de Niigata, Japón. (Sasaki, Comber, Suzuki y Brunsdon, 2010, p. 4).

Con la implementación de modelos matemáticos para la resolución de estos problemas de instalaciones móviles, se aplicaron estudios en los que compara el resultado de un modelo de simulación versus la formulación de modelos clásicos de localización para la configuración de un sistema de control de incendios en Nueva York. (Monarchi, Hendrick y Plane, 2007, p. 210).

Murray, Matisziw, Wei y Tong (2008) formulan un modelo para maximizar la cobertura del espacio continuo, y su implementación a partir de un heurístico geo computacional el cual es comparada en términos de cobertura versus un procedimiento de localización de localización con cobertura máxima (MCLP- Maximal covering location problem). (p. 758)

Para modelar la decisión de localización de ambulancias de atención pre-hospitalaria de la ciudad de Medellín Villegas, Castañeda y Blandón (2012) decidieron aplicar una variante del MEXCLP donde se utilizan dos modelos de localización. Un primer modelo encuentra el número de ambulancias necesarias para operar el sistema. Posteriormente, un segundo modelo que combina elementos del SCLP y del MEXCLP busca minimizar el número de estaciones en las cuales se ubicarán las ambulancias. (p. 3)

Rodríguez, Osorno y Maya (2016) ejecutan una revisión sobre la relocalización de vehículos en servicios de emergencias médicas, En particular se presenta una descripción básica de las actividades que se realizan en un SEM, la forma como son clasificados este tipo de problemas, los principales componentes que se tienen en cuenta en el diseño de los modelos, los métodos de solución que se han implementado a la fecha y las medidas de desempeño para evaluar las soluciones. Los Servicios de Emergencias Médicas-SEM son sistemas responsables de la

estabilización y transporte pre-hospitalario de pacientes con urgencia y emergencia médicas. Una de las constantes preocupaciones de los SEM es mejorar el tiempo de respuesta ante la ocurrencia de un evento, debido a que este es una medida de desempeño muy importante para determinar la calidad de atención pre-hospitalaria de los SEM y para preservar la vida y la salud de los pacientes. Además, algunos estudios han demostrado que existe una relación directa entre la disminución del tiempo de respuesta y la disminución de la mortalidad. (p. 165)

Referente al tema de relocalización del servicio de taxi, en España según Solar (2013) el despacho de estos vehículos es gestionado por el Instituto Metropolitano del Taxi - IMET-, organismo público encargado de controlar y determinar el número de licencias y credenciales, además las tarifas y las condiciones de los vehículos. Con unos ingresos anuales de 43634,11 euros y unos costes anuales de 40081,92 euros por taxista se alcanza el beneficio empresarial razonable cuyo nivel de referencia es de 3455,35 euros, siendo la actividad del taxista rentable en la ciudad de Barcelona. (p.1)

En cuanto a la oferta de taxis, es baja durante la jornada nocturna donde la demanda es considerablemente superior, con lo cual se genera importantes tiempos de espera por parte de los usuarios que quieren utilizar este modo de servicio. Por otra parte el coste del usuario disminuye a medida que aumenta el número de vehículos a diferencia del conductor que su coste aumenta para un mismo nivel de demanda. Comprendiendo esto, Solar (2013) realiza el análisis ideal de que en la ciudad de Barcelona, el número de vehículos ofertados se encuentre alrededor de la flota óptima para lograr minimizar los costes del sistema. Teniendo en cuenta muchos factores que influyen directamente en la calidad del servicio y el precio de una carrera. Dichos factores que mide son el despacho de carreras, el cual es el tiempo de viaje entre el pasajero que espera y el vehículo libre más cercano y esto a su vez está en función de la densidad de taxis libres en la

zona y el área de la zona. Las carreras de taxi que hace enfoque a que sí el taxi se mueve en un mercado de carreras o está circulando constantemente por la calle presenta otra metodología para calcular el tiempo que debe esperar un usuario para encontrar uno; en cuanto al taxi en paradas se plantea un enfoque aplicando la teoría de colas para una cola doble en donde el taxi y el usuario se encuentran mutuamente. El valor del tiempo debe realmente interpretarse en términos del valor de ahorro de tiempo que puede lograrse en realizar una actividad, en este caso trasladándose de un lugar a otro. Y la rentabilidad económica del taxista con los costes de tipo directos variables y costes indirectos fijos que son aquellos ligados a la propia actividad del taxi (movimiento del vehículo) y a la prestación del servicio (kilómetros recorridos) y los costes indirectos son todos aquellos costes relacionados con el ejercicio de la actividad, es decir, son los gastos que se producen independientemente de la ejecución del servicio. (p. 2)

El análisis en Barcelona, con una superficie de 101,9 km² ciudad en donde la mayoría (90% aproximadamente) de los servicios de taxis tienen su origen y se concentran allí, en el que de igual forma sucede con las destinaciones, reuniendo cerca de un 87% del destino de los viajes, como se puede observar en la figura 3.

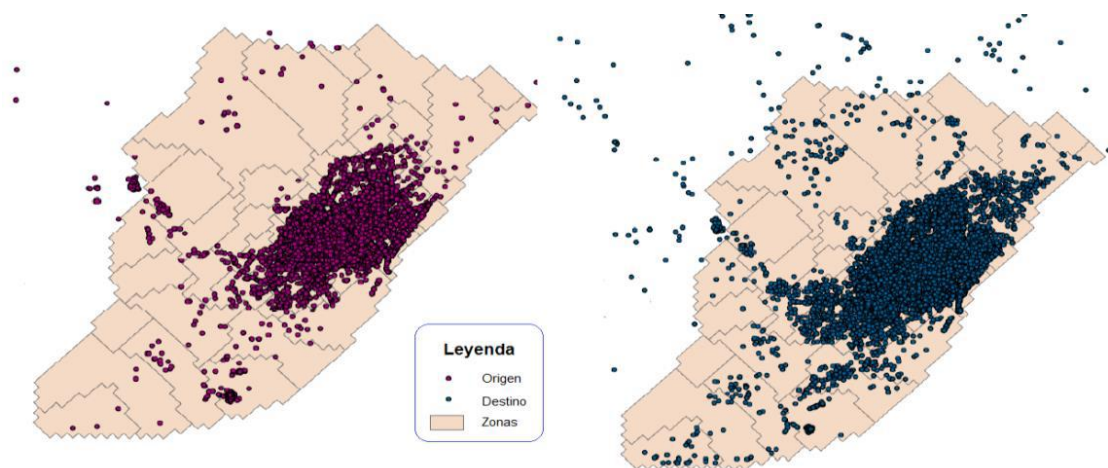


Figura 3. Análisis y dimensionamiento del servicio de taxi en una ciudad. Elaborado por: Solar. 2013.

Por otro lado, en el caso del efecto invernadero y todo lo que abarcan los problemas del medio ambiente, Prado (2015) ha diseñado una plataforma para hacer el estudio la viabilidad técnica de la transición de los vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos en una flota de taxis. Utilizando esta plataforma, se logran estudiar las distancias diarias recorridas, entre las paradas realizadas por taxis diariamente, las velocidades medias diarias de dichos vehículos, la duración de cada una de las paradas, su localización geográfica y además se evalúa también al detalle sobre qué porcentaje de vehículos pueden recorrer dichos trayectos diariamente teniendo en cuenta la autonomía de los automóviles eléctricos y sus posibles recargas intermedias, con la herramienta desarrollada, se puede utilizar para distintas administraciones en otro tipo de flotas urbanas todo esto en busca de la reducción de emisiones y lograr la conciencia ambiental. (p. 4)

Por otro lado, en Sudamérica, la gran cantidad que se demanda en Perú sobre el servicio de taxis es sumamente grande por la diversidad de lugares turísticos y el numero poblacional en cada una de las ciudades en país, es por ello que Ortega (2010) optó por desarrollar un sistema de información de gestión de servicio de taxis que optimice las rutas de transporte, el cual comprenderá los módulos de seguridad, mantenimiento, recepción y asignación de servicios, y apoyo a la gestión el sistema permitirá registrar las solicitudes de servicios de taxi y atenderlos eficientemente asignando la mejor ruta, De esta manera las empresas de taxi podrán ahorrar tiempo y dinero a la hora de ofrecer un servicio desde un lugar a cualquier otro punto de la ciudad, mejorando la atención al cliente mediante una respuesta rápida. (p. 5)

Con el uso de un algoritmo de optimización apropiado al contexto del problema se hizo la transición de todo el estudio, además de haberse utilizado software libre para la elaboración del sistema. Por otro lado, se ha aplicado una metodología de desarrollo que toma como base el Proceso Unificado Racional.

Apoyándose también en algoritmos meta heurísticos, algoritmos exactos y aproximados, sistema de hormigas y todo tipo de segmento matemático relacionado a las heurísticas, para la búsqueda de la solución y la metodología aplicada al proyecto ejecutado en el que se ha implementado eficazmente el algoritmo Sistema de Colonia de Hormigas para mejorar la trayectoria del servicio de taxi en cuanto a distancia y tiempo.

La situación en materia de inseguridad con los transportes públicos es demasiado elevada, la cifra referente a la problemática de esta índole ha llevado a preocuparse por mecanismos de que garanticen seguridad pues en la ciudad de Machala; Osorio, Sares y Sabando (2011) pretenden controlar y disminuir la inseguridad que se vive en la ciudad, implementando un sistema de seguridad y control para las unidades de taxi ejecutivo de la ciudad mediante la radio de dos vías MOTOTRBO la cual está contando con un modem GPS instalado ayudando a proporcionar respuestas rápidas ante situaciones de robo y secuestros. (p. 13)

Se realizó el estudio simplemente para determinar la viabilidad en materia de garantías y rentabilidad financiera con la finalidad de implementar sistemas de seguridad y control para las unidades de servicio de taxi ejecutivo que sean económicos, eficientes y acorde a las necesidades de la población de la ciudad de Machala.

El interés por presentar un mejor servicio de taxi ha impulsado a incluir a la tecnología a este negocio, para proporcionar monitoreo óptimo en cuestión de localización de vehículos y haciendo manejo de la logística con una aplicación en tiempo real observando los taxis cercanos al punto en el que se encuentra el usuario de la aplicación. A su misma vez, permite al taxista la recepción de peticiones así como la visualización de la localización del cliente.

Ramos (2012) realizó dos aplicaciones Android, por un lado la “Aplicación cliente”, que muestra los taxis libres más cercanos que hay desde el punto geográfico en el que se encuentra el

usuario. Por otro lado, la “Aplicación Taxista”, que envía los datos de localización periódicamente a un servidor MYSQL y muestra la localización del cliente que solicita ese taxi. El sistema operativo para dispositivos móviles creado por Google (Android) se está extendiendo cada vez más; además los dispositivos móviles actuales incorporan todo tipo de sensores y chips con los que podemos realizar aplicaciones interesantes, por ejemplo, en este proyecto se aprovecha la funcionalidad del chip receptor de GPS. (p. 12)

Manifiesta Ramos (2012) que las dos aplicaciones para que el sistema pueda funcionar se requiere un servidor de base de datos MYSQL en el que se almacenaran las localizaciones e identificadores de todos los clientes y taxistas y un servicio web encargado de intercambiar datos entre la aplicación Android y la base de datos. (p. 13)

La investigación desarrollada en Alemania por Nagel & Maciejewski (2013) se centró en realizar una descripción de las diferentes maneras de solucionar el problema de despacho de taxis, en los que se utilizaron algoritmos, métodos en línea y la metodología de modelación matemática (Offline). La investigación se centra principalmente en encontrar el equilibrio demanda-oferta en un mercado regulado o desregulado. Estos estudios han considerado que las propiedades de los servicios de taxi son homogéneas en tiempo y espacio, y a menudo limitan el alcance solo a despachar taxis. El documento define los problemas de despacho de taxis fuera de línea y en línea, y presenta tres estrategias de despacho diferentes que luego son evaluadas en un escenario realista. (p. 8)

Basándose en los resultados computacionales, Nagel & Maciejewski (2013) muestran que una estrategia de no programación, simplemente asignando el taxi vacío más cercano a cada solicitud entrante, funciona bien siempre que el sistema no esté bajo mucha carga. Una buena métrica de distancia, preferiblemente tomando en cuenta la congestión dependiente del tiempo,

tiene un impacto positivo, sin embargo, bajo una gran carga, la estrategia de no programar se deteriora claramente, y las estrategias de programación muestran ventajas muy claras. Esto demuestra que dar soluciones a este tipo de problemas de manera manual tiende a limitar en el desarrollo y resolución de estos. (p. 9)

Así mismo se afirman que el objetivo de un despachador de taxis es maximizar la eficiencia de la utilización de la flota, respondiéndole de la mejor manera al usuario solicitante. El documento manifiesta el estudio de la distribución temporal y espacial de las solicitudes de taxi que se tienen mediante modelación matemática, pues en términos generales, afirman que existe un alto grado de previsibilidad. La eficiencia del despacho de taxis se puede mejorar significativamente a través de la anticipación de futuras solicitudes y condiciones de tráfico. Se formuló un enfoque de horizonte continuo para la optimización del despacho de taxis, que tiene en cuenta la naturaleza estocástica y dinámica del problema. Se presentaron experimentos numéricos para ilustrar el rendimiento de la heurística, teniendo en cuenta la dependencia temporal de los tiempos de viaje y las llegadas de pasajeros (Wong & Bell, 2006, p. 204) en relación a este tema también, se le suman herramientas como la simulación que dan el apoyo a la resolución de problemas con énfasis en la relocalización de instalaciones móviles, en el que Lee, Wang, Cheu, & Teo, (2004) se enfocan en demostrar el método actual o existente de despacho de vehículos tipo taxi en tiempo real en el que se envía el vehículo más cercano en distancia (Línea recta) al cliente que lo solicita o que hace reserva de vehículo como lo menciona el artículo, sin embargo los autores proponen una mejora en simulación en el que los vehículos más cercanos no sean los que vayan, sino que sea el vehículo con mejor acceso en ruta y tiempo al cliente, puesto que en el método existente no se tiene en cuenta el tráfico ni la infraestructura vial, simplemente se tiene en cuenta la distancia en línea recta, por el contrario, con el método propuesto se

optimiza el tiempo de llegada de los taxis al lugar donde encuentra el cliente, considerando la ruta, distancia y otros componentes que garantizan el cumplimiento del servicio. (p. 4)

3.3 Marco conceptual.

Vehículos tipo taxi o móviles. Vehículos de servicio público que transportan de un lugar a otro a los usuarios o clientes una vez estos soliciten el servicio a la empresa de taxis.

Vehículos de la flota. Es todo el parque automotor de la empresa de taxi que presta el servicio público, tomada como objeto de estudio en la ciudad de Barranquilla.

Vehículo disponible. Es el taxi que está desocupado y dispuesto a recibir solicitud para prestar el servicio.

Vehículo Ocupado. Es el Estado del vehículo que completó el servicio de recoger al usuario en el lugar que solicitó el taxi, vuelve a estar desocupado o disponible una vez el vehículo haya culminado el servicio de transportar al usuario desde el origen hasta el lugar deseado por el cliente.

Tiempo de respuesta. Es el tiempo límite máximo que tiene la empresa como política para que el vehículo tipo taxi o simplemente taxi complete el servicio. (Llegar a la localización donde el usuario solicitó el vehículo).

Localización de la solicitud de taxi. Es la localización en la cual se encuentra el usuario al momento de solicitar el servicio de taxi.

Localización del vehículo (Seudobase). Es aquella localización en la que se encuentra el vehículo en la calle al momento de ingresar una información o llamada entrante de solicitud de servicio. (Taxi en estado disponible).

Servicios cancelados. Son aquellos servicios en los que el usuario que solicitó el servicio de taxi, da por cancelada la petición del servicio de taxi una vez éste confirmó la búsqueda de la localización del usuario.

Servicios fantasmas. Son todos aquellos servicios en los cuales cliente llama para solicitar un servicio pero este abstiene a tener una conversación con el operador.

Servicios completados. Es lo referido al cumplimiento de la llegada del taxista a la localización solicitada, y el usuario confirmando haber ingresado al vehículo.

Servicios incumplidos. Son aquellos servicios en los que la empresa prestadora de servicio de taxi incumple la demanda de servicio, ya sea por cantidad de móviles no disponibles o por pasar los 15 minutos límites de tiempo para responder a la solicitud.

Central. Lugar, o centro de monitoreo al cual ingresan las llamadas para la solicitud de servicio de taxis de los usuarios y donde se hace la respectiva asignación a los taxis de los servicios requeridos.

Llamadas entrantes. Son las llamadas entrantes a la central referentes a solicitud de servicio de los usuarios (Estas automáticamente se vuelven información de servicio para los taxistas si está disponible y cerca de la localización del usuario).

Terminal móvil. Herramienta tecnológica que tienen todos los taxis registrados a la empresa en el que los taxistas reciben la información de los servicios asignados por la central de monitoreo y los conductores emiten su estado (Ocupado o disponible) que sirve para el control del sistema de asignación de vehículos tipo taxi.

Capítulo 4: Caracterización del sistema de relocalización de los vehículos de servicio público taxi en una empresa en la ciudad de Barranquilla

4.1 Estudio de satisfacción de los usuarios frente al servicio público de taxi en la Ciudad.

Para el desarrollo del estudio de satisfacción de los clientes con el servicio público de taxis, se necesita conocer la población de la ciudad de Barranquilla teniendo en cuenta las 5 localidades urbanas de la ciudad (Riomar, Norte-Centro histórico, Suroccidente, Suroriente y Metropolitana), puesto que con esa información se identifica la satisfacción de los usuarios de vehículos taxi y la percepción que se tiene de estos. Reconociendo que la ciudad de Barranquilla según la proyección del DANE (2007) para el año 2020 es de 1 239 804 habitantes.



Figura 4. Localidades de la ciudad de barranquilla. Elaborado por: Aguilar. 2015.

Se pone en marcha la realización de una clasificación demográfica para tener claro que tipo de la población utiliza el servicio de taxi y la percepción que tiene del mismo, teniendo en cuenta que sean personas con rangos de edad de 18-24, 25-34, 35-44, 45-54 y 55 en adelante. La población de la Ciudad de Barranquilla que hace parte a estos rangos de edad es de 897.998 personas (DANE, 2007).

Para determinar la muestra de la población que se encuestó de la ciudad de Barranquilla, se tomó como criterio la fórmula de tamaño de la muestra. Una vez obtenida la muestra con base en esta fórmula, se realizó el estudio de satisfacción del servicio público taxi y percepción de este.

Teniendo en cuenta que los componentes de la fórmula de tamaño de muestra:

- ✓ N; Población finita = 897.998 Personas (Percepción del DANE para el año 2020 con los rangos de edad establecidos).
- ✓ Z^2 ; Nivel de Confianza = 95% = 1.96^2
- ✓ D^2 ; Precisión = 5%
- ✓ $P = Q$; Proporción esperada o probabilidad de fracaso o de éxito = 0.5

$$n = \frac{(N)(Z)^2 (p)(q)}{(d)^2(N - 1) + (Z)^2(p)(q)}$$

$$n = \frac{(897\ 998)(1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.05)^2(920.073 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

$$n = 384 \text{ Personas}$$

Una vez resuelta la operación con los datos establecidos de la formula, se manifiesta que la muestra del cubrimiento geográfico establecido fue de 384 personas para la elaboración de la encuesta relacionada a la percepción del servicio público tipo taxi en la ciudad de Barranquilla, aunque algunas zonas o localidades tienen más barrios no se tiene en cuenta una distribución de porcentaje a encuestar por localidades, por el hecho en que a dichas zonas no son tan fuertes en demanda taxis, es por ello que la cantidad de personas que residen en cada localidad de la ciudad y popularidad de los mismos no influiría en el estudio de la percepción de la población con el servicio de transporte que prestan los taxis.

Esto se hace con la finalidad de percibir únicamente la opinión o comportamiento de los usuarios frente al servicio de taxis en las diversas zonas de la ciudad; teniendo en cuenta factores importantes como la seguridad, cubrimiento del servicio de taxi y tiempos de respuesta.

Basado en los factores que más causan inconformismo por el servicio de taxi en la ciudad como lo es el costo de utilizar el servicio, los tiempos de respuesta al solicitar el servicio a las empresas prestadoras de este servicio, comodidad, seguridad e inconformidad por ausencia en zonas o negación de prestar el servicio por estas condiciones.

Se realizaron diversas preguntas generando una encuesta enfocada en los aspectos mencionados anteriormente con el propósito de reconocer con claridad la percepción de los ciudadanos frente al servicio de taxis de la ciudad. La encuesta se puede visualizar en el anexo 1. En donde se manifiestan los datos a tener en cuenta para la definición de la muestra encuestada. La muestra de personas tomadas para la realizar la encuesta que residen y están distribuidas en cada una de las 5 localidades se manifestaron con los siguientes resultados:

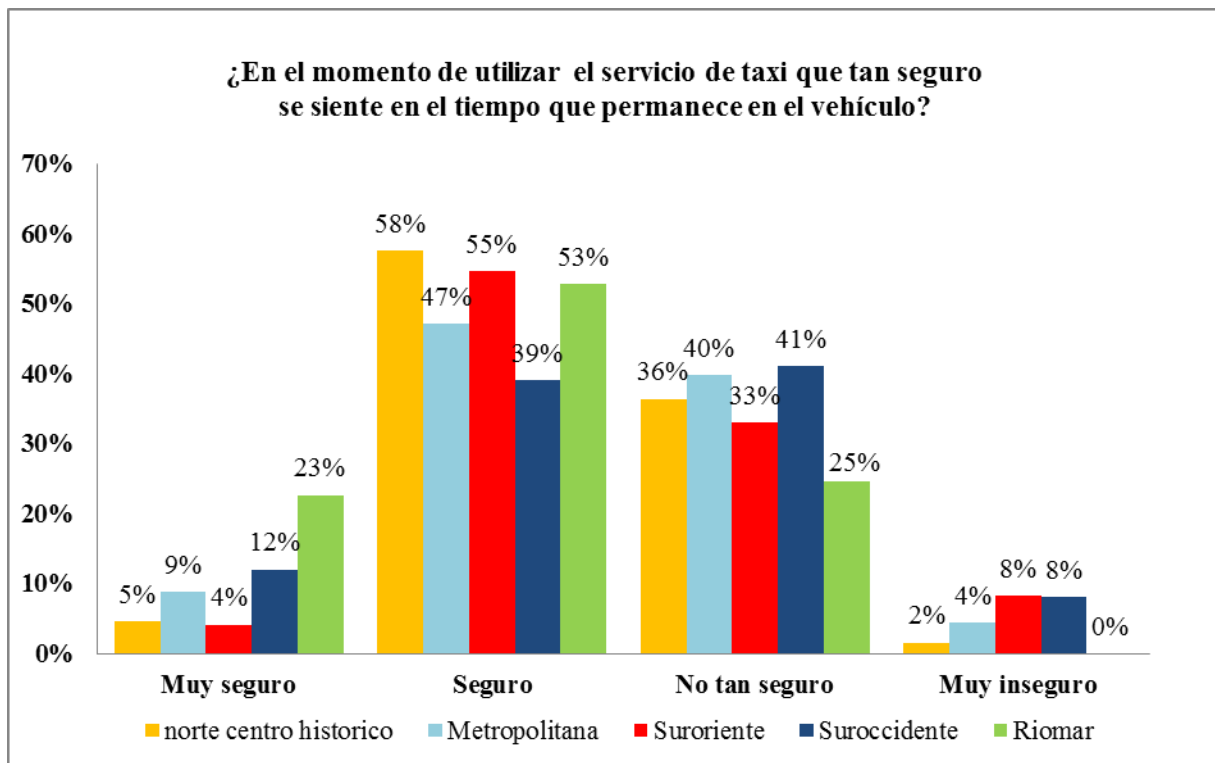


Figura 5. Percepción suroccidente sobre seguridad en taxi. Elaboración propia.

La figura 5 muestra que los residentes de la ciudad de Barranquilla en términos generales manifiestan que se sienten seguros al utilizar el servicio de taxis, sin embargo los resultados reflejan casi una paridad entre “seguro” y “no tan seguro”, reflejando que una gran cantidad de la muestra no se siente tan segura. Haciendo un recuento de las localidades de manera individual, manifiesta en efecto que el 23% de votantes del sector Riomar se sienten muy seguros, seguidos de suroriente con el 12%, metropolitana con el 9%, norte centro histórico y suroriente con un 5% y 4% respectivamente, siendo estas 3 ultimas localidades que con una gran minoría se sienten tranquilos mientras están utilizando el servicio de taxi.

Las localidades donde mas personas manifestaron sentirse muy inseguros fueron suroriente y suroccidente con el 8% de votantes para ambas. Es importante resaltar que ninguno de los votantes de la localidad de Riomar calificaron como “muy inseguro” el servicio de taxi.

La localidad con el mayor porcentaje de votantes lo manifestó Norte centro historico, categorizando con el 58%, como ‘‘seguro’’ el servicio de taxi de la ciudad.

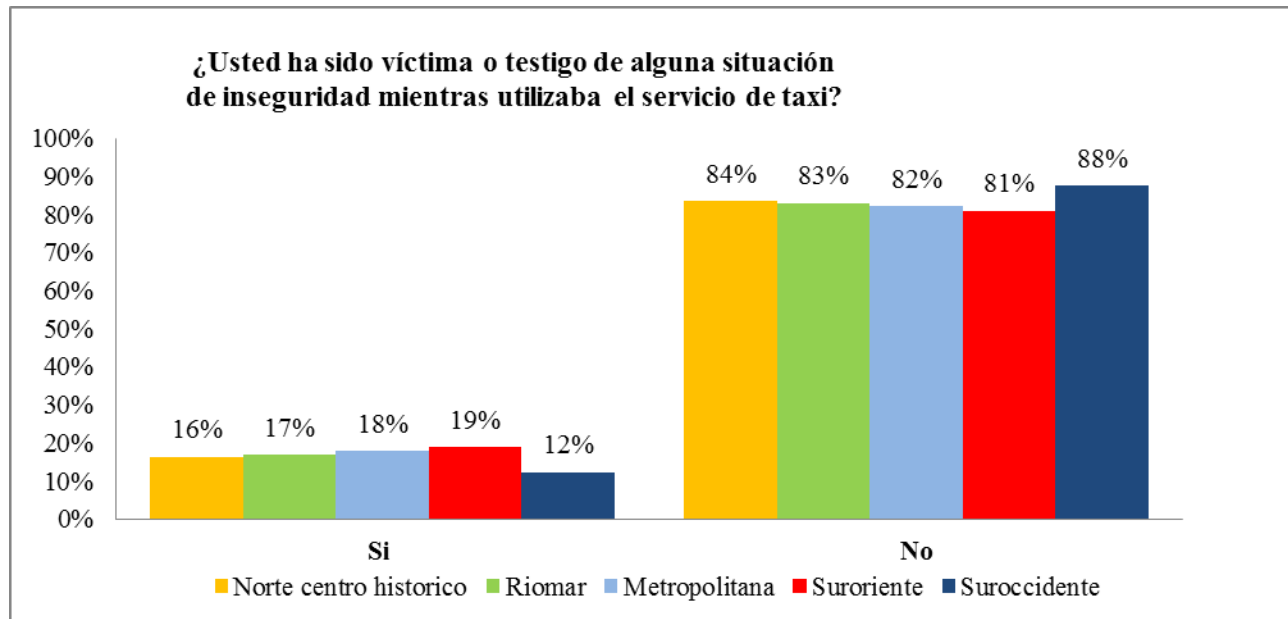


Figura 6. Situación de inseguridad utilizando vehículo de taxi suroccidente. Elaboración propia.

En la figura 6 se puede ver que las personas de la localidad de suroccidente demuestran con un 88% que no han vivido una situación de inseguridad en un taxi a pesar de no sentirse tan seguros mientras utilizan el servicio. En el sector metropolitano de la ciudad los habitantes se manifestaron con el 82% que no han tenido en su mayoría vivencias de situaciones de inseguridad.

Los habitantes de la localidad de suroriental se manifiestan con el 81% de personas que nunca han experimentado alguna situación en particular de inseguridad. Las personas que viven en la localidad de Riomar también se mostraron conformes al servicio en materia de seguridad, pues con el 83% de los encuestados manifiestan que no han sufrido una situación de inseguridad.

Las personas de Norte centro histórico encuestadas se muestran similar a las personas de las demás localidades de la ciudad con el 84% de ellos confirmando que no han sufrido situaciones de inseguridad mientras utilizaban el servicio de taxi.

En el caso de las situaciones de inseguridad, en términos generales no ha sido mayor al 20% el manifiesto de los participantes de cada una de las localidades que han sufrido en algún momento una situación indeseable, sin embargo es un porcentaje de alarma, puesto que demuestra fácilmente que 2 de cada 10 ciudadanos en aproximado en la ciudad han sufrido o sentido alguna situación de inseguridad.

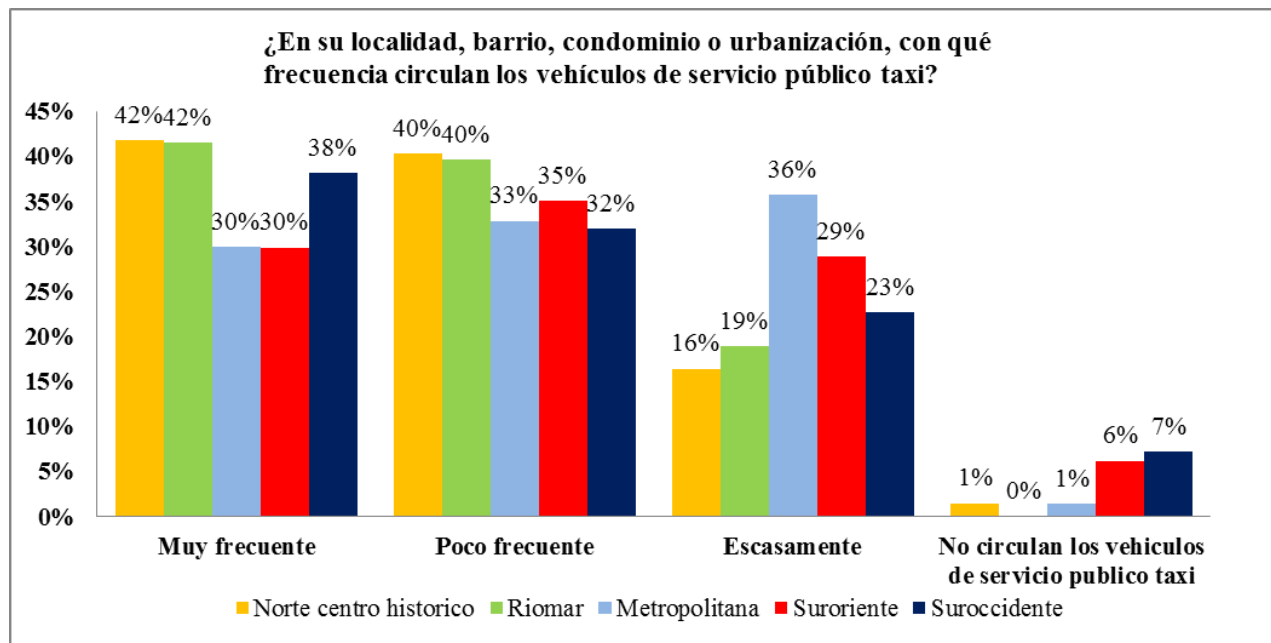


Figura 7. Frecuencia de circulación de taxis en localidad de suroccidente. Elaboración propia.

Basados en la figura 7, las personas de la localidad de suroccidente tienen una percepción muy repartida, pues manifiestan con porcentajes del 38% y de 32% que son muy frecuentes y poco frecuentes la circulación de vehículos de taxi respectivamente, esto se debe también en que hay sectores de la localidad o barrios en los que son más frecuentados por los vehículos y otros sectores en donde el servicio de taxis es escaso, de la misma forma se reflejó esta localidad con

el 23% y el 7% que el servicio es casi nulo en algunas zonas de la localidad y totalmente ausente en otros sectores.

Las personas de la localidad metropolitana en la encuesta arrojaron resultados divididos, dejando el mismo análisis de la anterior localidad, en que hay sectores o barrios en los que los vehículos tipo taxi se hacen mas presentes que en otros barrios de la misma localidad.

Los habitantes encuestados del sector de Riomar manifiestan que los vehículos tipo taxi están con más frecuencia en las zonas de la localidad, solo el 19% piensa que es escasa la presencia de los vehículos y todos los encuestados niegan que no circulan los vehículos en la zona donde residen, teniendo para el análisis que un motivo es la localización específica de donde viven los ciudadanos y la concentración de los ciudadanos en zonas claves de la ciudad.

El comportamiento de las personas de suroriente manifiestan con el 35% y 29% los resultados más significativos, dando a conocer que en la localidad la presencia de taxis es poco frecuente a escaso sin mencionar que tan solo el 6% dice que no circulan los vehículos tipo taxi. Con un 30% de encuestados dicen que el sector está perfectamente cubierto por los taxis y disponibles al servicio. La gran mayoría de los encuestados pertenecientes al sector Riomar manifestó que 42% y 40% que los vehículos tipo taxi son relativamente frecuentes por las zonas de la localidad.

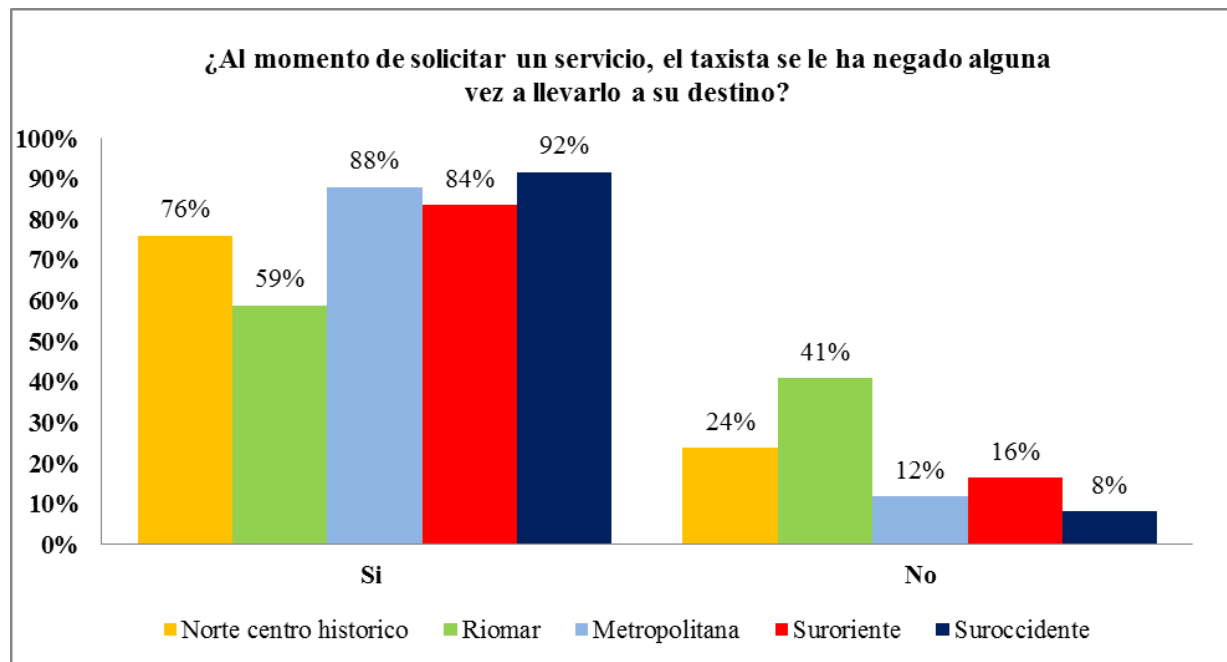


Figura 8. Representación de rechazo y aceptación de servicio por taxista suroccidente. Elaboración propia.

Reconociendo los resultados de cada una de las localidades en la figura 8, al momento de tomar un taxi en la calle, los ciudadanos de las localidades de Riomar con el 41% y norte centro historico con el 24% son a los que menos se les niegan al momento de solicitar el servicio publico, sin embargo esto demuestra que el servicio es irregular para los ciudadanos, reflejando en las estadísticas hay localidades en las que pocos ciudadanos han sido rechazados a prestarles el servicio de taxi, dando a deducir hipotéticamente que por factores de seguridad, tráfico, distancia o pérdida de tiempo de servicio, entre otros factores, hacen que el taxista se niegue a ejecutar la solicitud del ciudadano a llevarlo a su lugar de destino.

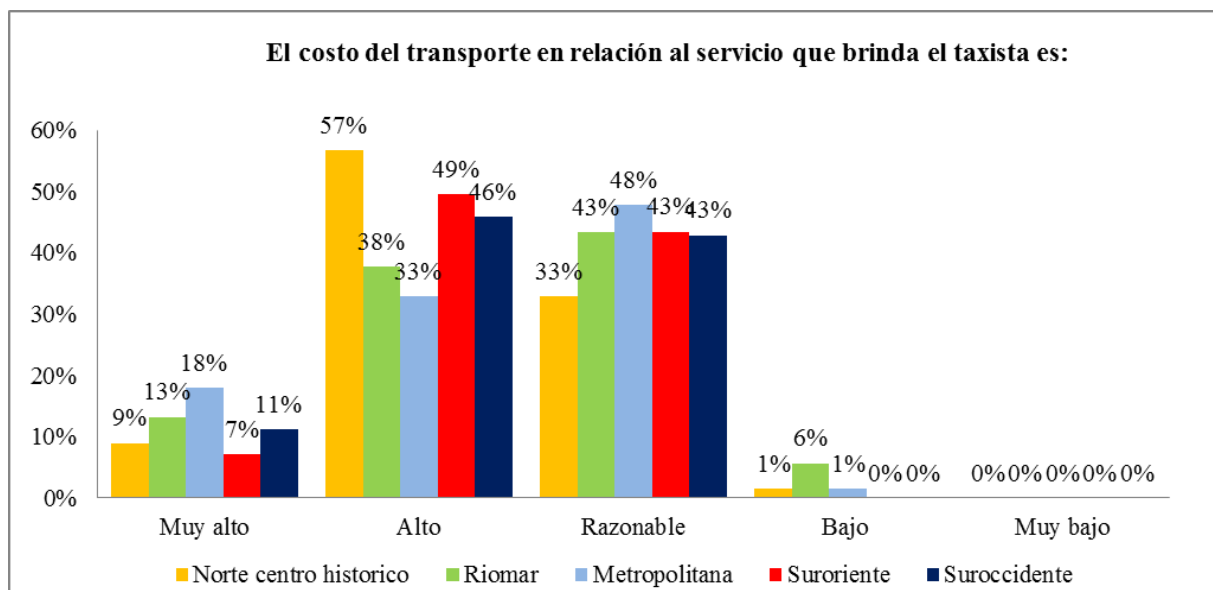


Figura 9. Costo vs servicio brindado por el taxi suroriental. Elaboración propia.

Las personas encuestadas, califican en líneas generales en la figura 9 el servicio de taxi como costoso en su gran mayoría, por otro lado una gran cantidad refleja que es razonable el precio en relación al servicio. Las personas que viven en la localidad de suroriental manifiestan que el precio de cada servicio de taxi es alto con el 49% de la población de acuerdo con el precio que estipulan las empresas de servicio de taxi, sin embargo una cantidad del 43% opina que es razonable el precio por razones propias de cada individuo respecto al servicio; sin embargo solo el 7% piensa que es muy alto el precio del servicio de taxis en la ciudad.

Los habitantes de suroccidente con el 46% piensan que el precio de los taxis al prestar su servicio es alto y otro resto con el 43% piensa que es razonable, tan solo el 11% piensa que el precio de una carrera es muy costosa. Los habitantes del sector del área metropolitana de Barranquilla piensan que el precio del servicio de taxi en su gran mayoría es razonable con un 48% del total de encuestados, seguido de un 33% que piensa que es alto y el 18% que es muy alto. Solo el 1% considera que es bajo el precio de las carreras.

En esta localidad de Norte centro histórico las personas con un porcentaje del 57% opinan que el precio del servicio es alto, seguido de una cantidad con el 33% manifestando que es razonable, siendo los porcentajes más significativos, catalogando dicha muestra de las personas de norte centro histórico que el servicio en la gran mayoría de ocasiones es alto.

Los encuestados de Riomar con un 43% piensan que el precio cobrado por los taxistas es razonable, el 38% piensa que es alto, el 13% de los ciudadanos encuestados dijeron que el precio del servicio es muy alto y tan solo el 6% lo cataloga como bajo.

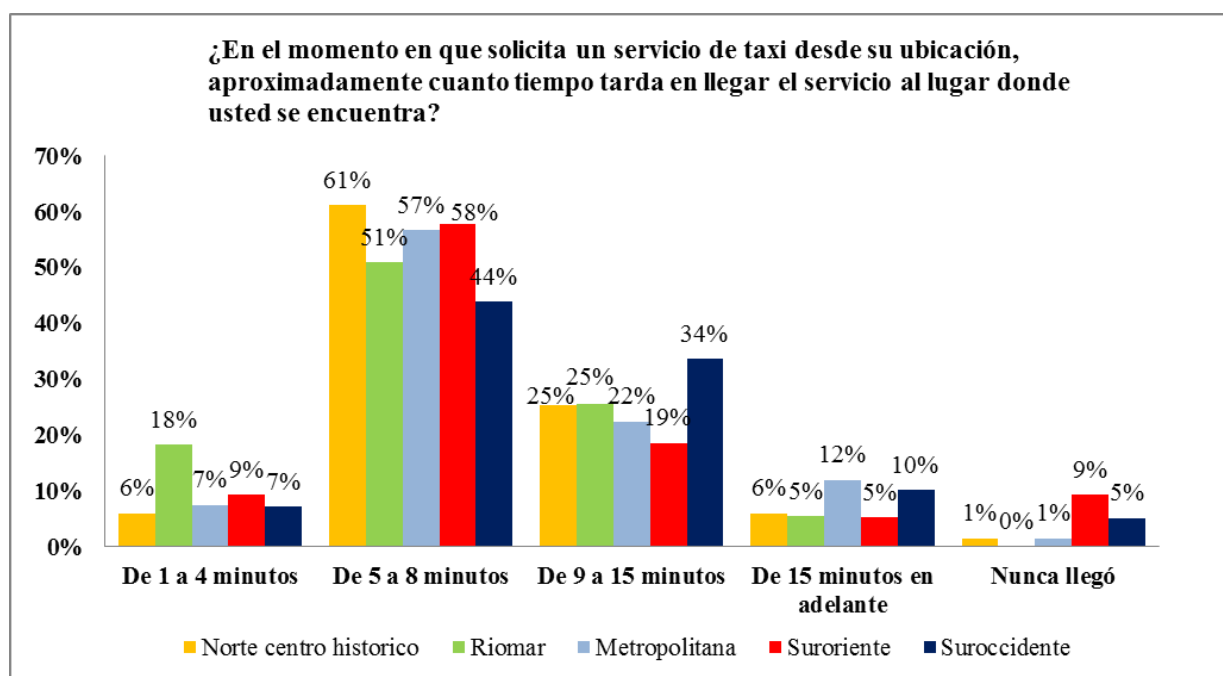


Figura 10. Tiempo de respuesta al solicitar un servicio en suroccidente. Elaboración propia.

Los ciudadanos encuestados en líneas generales manifiestan en la figura 10 que un taxi para llegar al lugar de donde se solicitó oscila entre 5 y 8 minutos, sin embargo, un 34% de encuestados de sector de suroccidente refleja que demora de 9 a 15 minutos, junto a porcentajes altos de las demás localidades, haciendo algo irregular el tiempo de respuesta de los vehículos tipo taxi al llegar a las zonas solicitadas, Así mismo en zonas como el suroriente en ocasiones el

vehículo nunca llega, como lo demuestra un porcentaje del 9% de los encuestados de esta localidad.

Solo el 18% de los encuestados del sector Riomar opina que el taxi llega en menos de 5 minutos. Las demás localidades llegan a menos del 10% de encuestados compartiendo el resultado de estos tiempos de respuesta.

El 58% de las personas encuestadas de la localidad del suroccidente opinan que el taxi llega entre 5 a 8 minutos cuando solicitan el servicio, siendo la gran mayoría de los encuestados que opinan de esta manera respecto al servicio en la zona, dando a pensar que los taxis frecuentan mucho en la localidad por los rápidos tiempos de respuesta al momento de solicitar el servicio. Tan solo el 19% dice que llega entre 9 y 15 minutos, el 5% que llega de 15 minutos en adelante, el 9% piensa que llega en menos de 5 minutos y otro 9% manifiesta que nunca llega el vehículo cuando solicitan el servicio.

Los habitantes en el sector de la localidad Metropolitana que fueron encuestados manifiestan con el 57% que el servicio de taxi ronda aproximadamente en llegar de 5 a 8 minutos, un 22% dice que de 9 a 15 minutos, el 12% menciona que de 15 minutos en adelante, el 7% dice que el taxi al llegar al lugar solicitado demoras menos de 5 minutos, y tan solo el 2% de los encuestados expone que al solicitar un servicio, este no llega.

En la localidad de Riomar los encuestados respondieron con el 51% que el servicio de taxi se demora entre 5 y 8 minutos en llegar al lugar solicitado, el 25% demora entre 9 y 15 minutos, el 18% revela que el taxi demora menos a 5 minutos en llegar al lugar solicitado, y tan solo el 6% de los encuestados manifiesta que llega luego de 15 minutos.

Los habitantes de la localidad de norte centro histórico, revelan con el 61% la cobertura de los taxis en la zona manifestando que el taxi demora de 5 a 8 minutos al llegar, el 25% dice que

llegan entre 9 y 15 minutos, tan solo el 6% piensa que llega después de 15 minutos, el 6% dice que el vehículo llega en un tiempo inferior a 5 minutos y tan solo el 2% opina que el taxi nunca llegó al lugar solicitado.

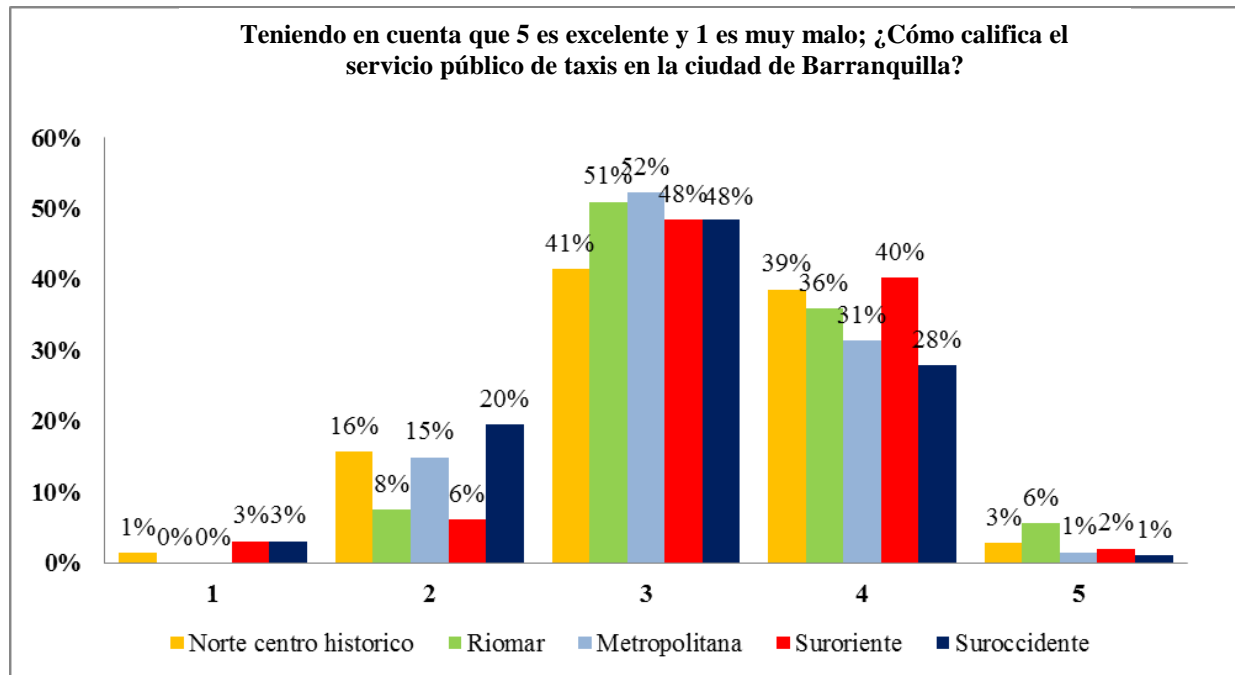


Figura 11. Calificación del servicio de taxi localidad suroccidente. Elaboración propia.

Como pregunta final los encuestados respondieron frente a su observación del servicio de taxis en su localidad, qué tan bueno o malo es el servicio; en la figura 11, los ciudadanos residentes en la localidad de suroccidente de Barranquilla calificaron con el 48% que el servicio es regular, dando calificación de 3, el 28% de 4, el 20% de 2, el 3% calificó como 1 al servicio, y solamente el 1% lo calificó con 5.

Las personas de Suroriente manifiestan con el 49% que el servicio es regular, dándole un 3, el 40% lo califica como bueno dándole un 4, el 6% le da un 2 al servicio, el 3% califica como malo, dándole tan solo 1 y solo el 2% le da 5 al servicio. Los ciudadanos de Metropolitana se manifiestan con el 52% con resultado de 3 para el servicio de taxi de la ciudad, el 31% con 4

catalogandolo como bueno, el 15% piensa que es malo dandole un 2, y el 2% de encuestados dice que el servicio en la ciudad es excelente.

El 51% de los encuestados calificaron al sistema de taxis con 3, el 36% manifiesta que el servicio es bueno, con 4, el 7% piensa que el servicio es malo dándole un 2, y tan solo el 6% califica con 5, dando a entender que las personas del sector Riomar siente que el servicio cumple con lo requerido pero podría mejorar.

Los ciudadanos encuestados de la localidad de Norte centro histórico con el 41% de ellos dicen que el servicio de taxis se puede calificar con 3, dando a entender que es regular, el 39% piensa que es bueno con un 4, un 16% de ciudadanos piensa que el servicio es malo, el 3% piensa que es excelente y tan solo el 1% de los encuestados se manifiesta con que el servicio es muy malo.

Determinados estos resultados, se realiza un análisis general de los resultados referentes a qué piensan los Barranquilleros tomados como muestra para tener en cuenta la percepción del servicio de taxis de la ciudad y están reflejados a continuación:

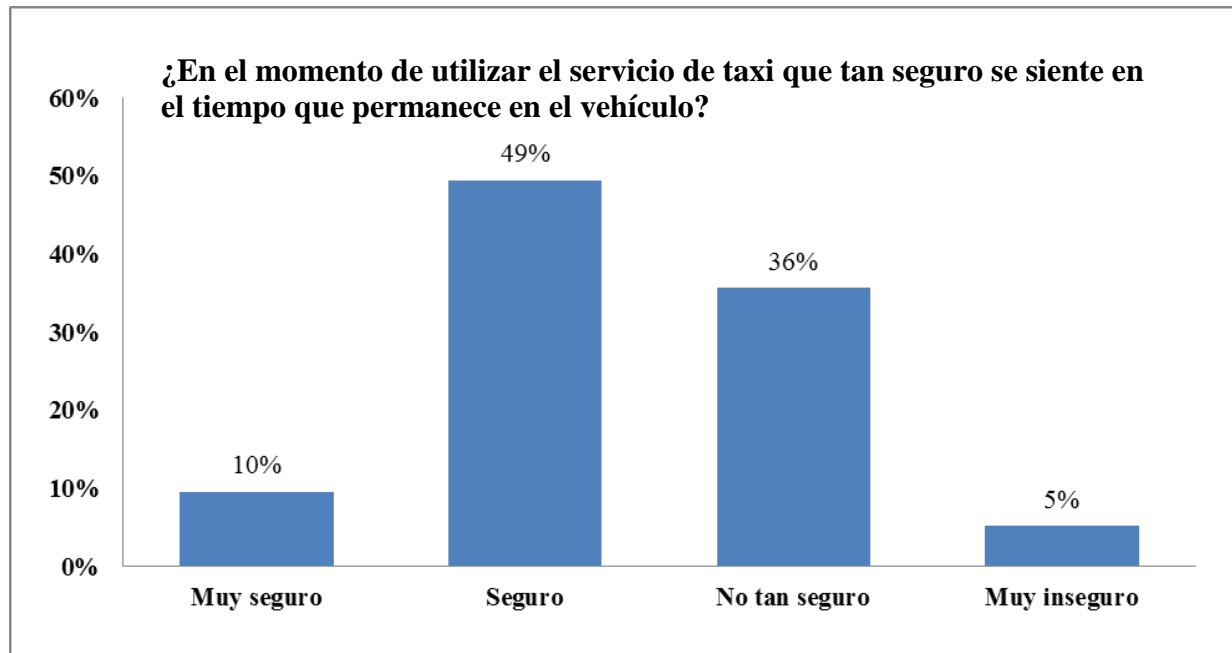


Figura 12. Nivel de seguridad que sienten los barranquilleros utilizando servicio de taxi. Elaboración propia.

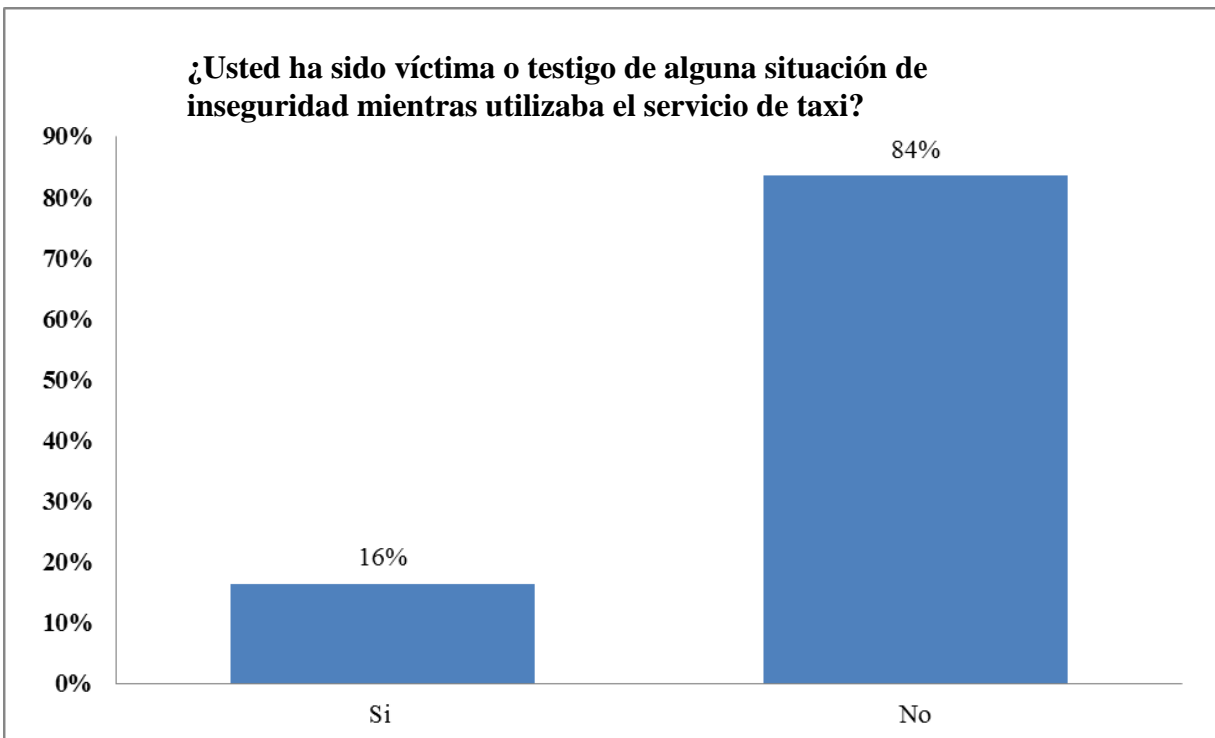


Figura 13. Experiencias de inseguridad utilizando taxi en la ciudad. Elaboración propia.

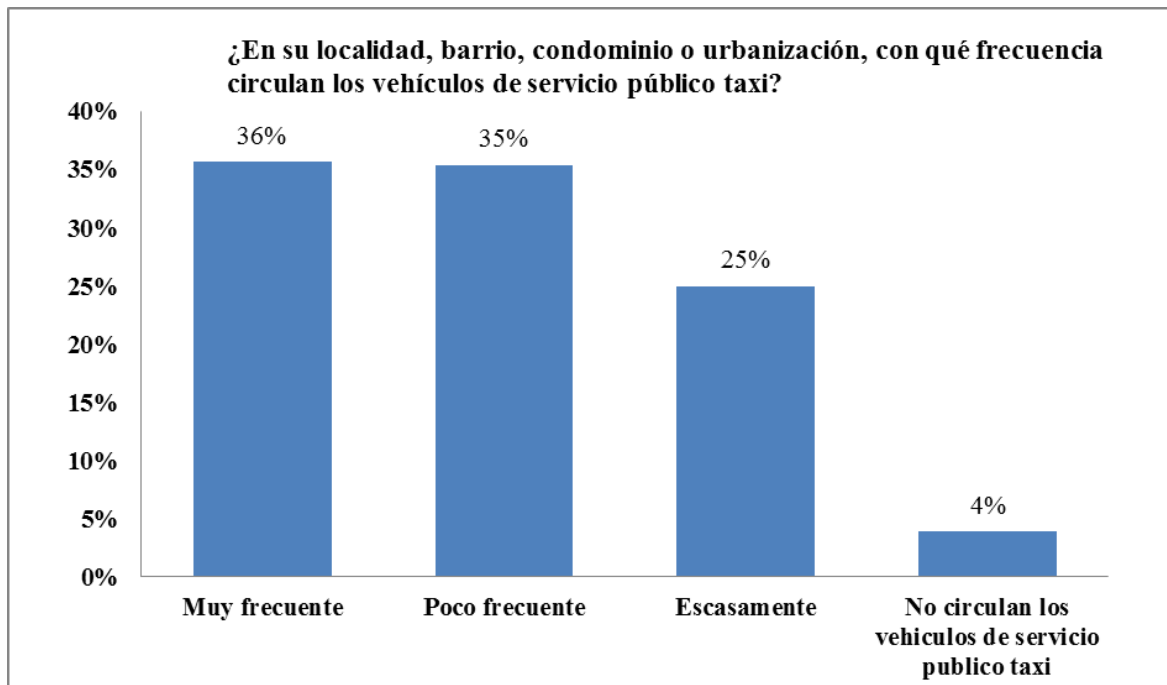


Figura 14. Frecuencia de la circulación vehículos tipo taxi por la ciudad. Elaboración propia.

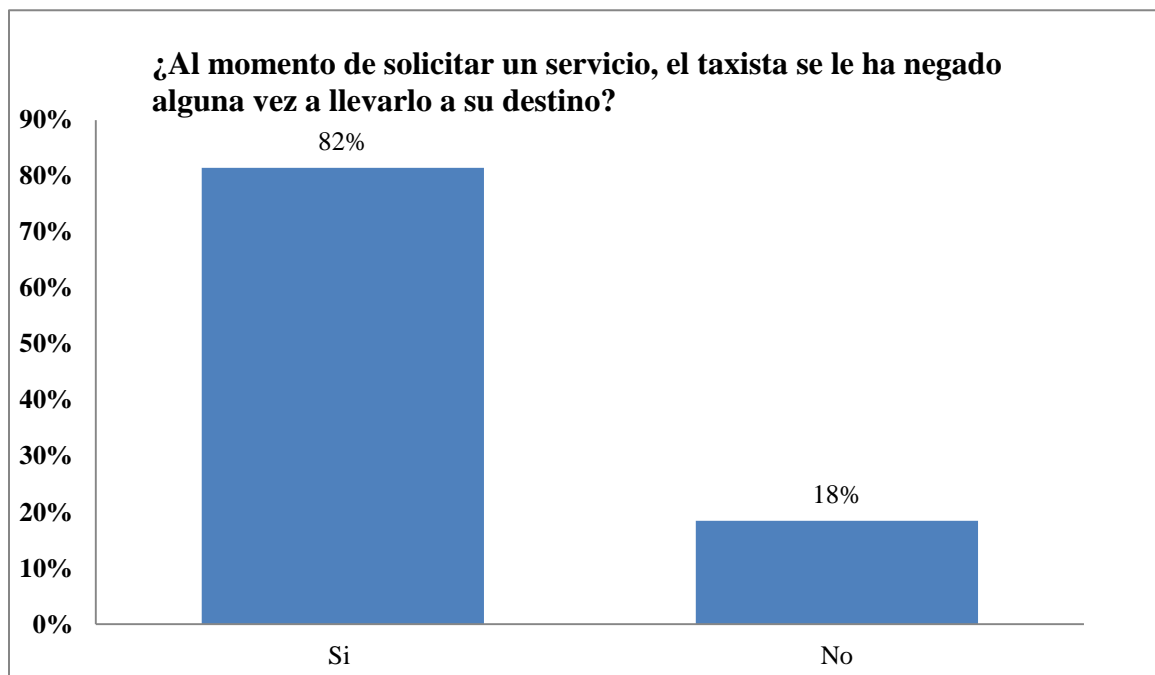


Figura 15. Percepción de los barranquilleros frente a la negación del servicio por parte de los taxistas. Elaboración propia.

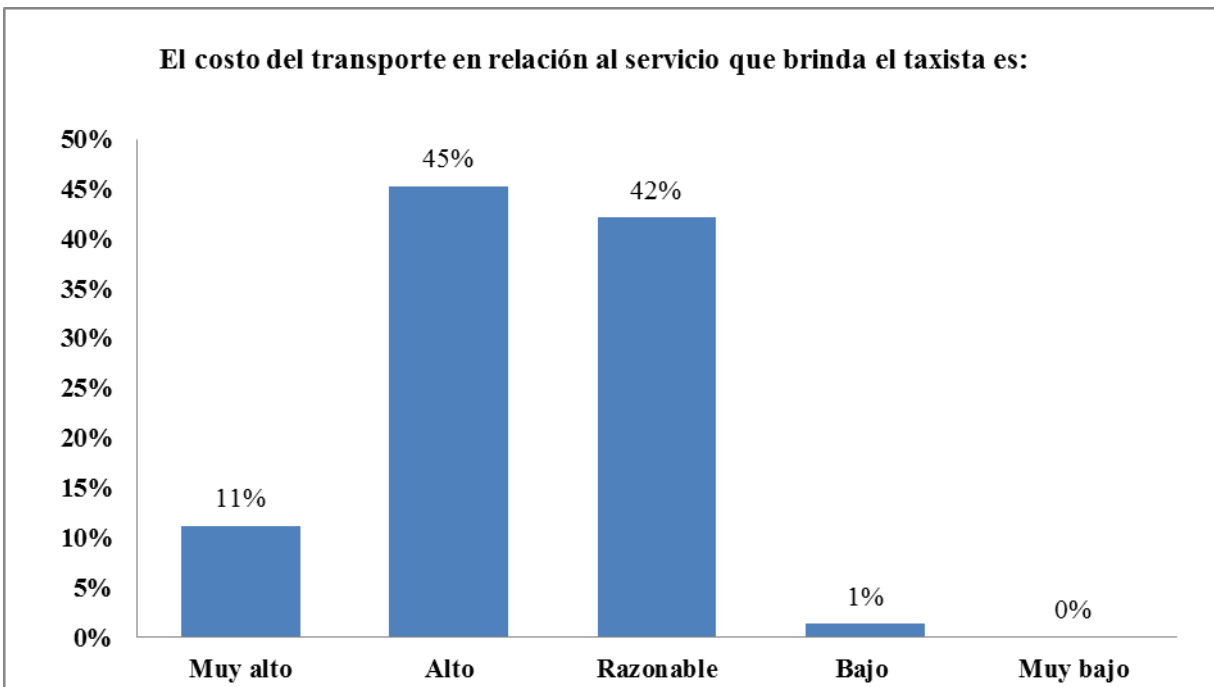


Figura 16. Percepción de los ciudadanos de costo vs servicio brindado por el taxi. Elaboración propia.

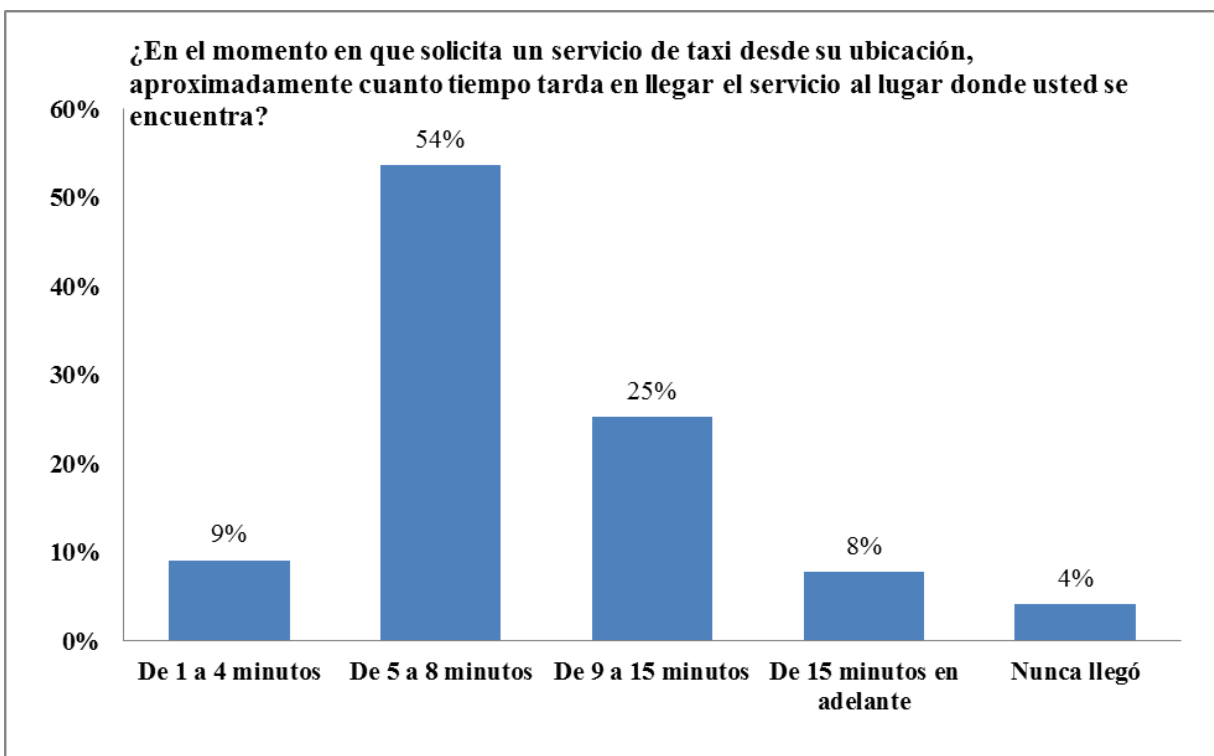


Figura 17. Percepción de los ciudadanos frente al tiempo de respuesta de vehículo tipo taxi. Elaboración propia.

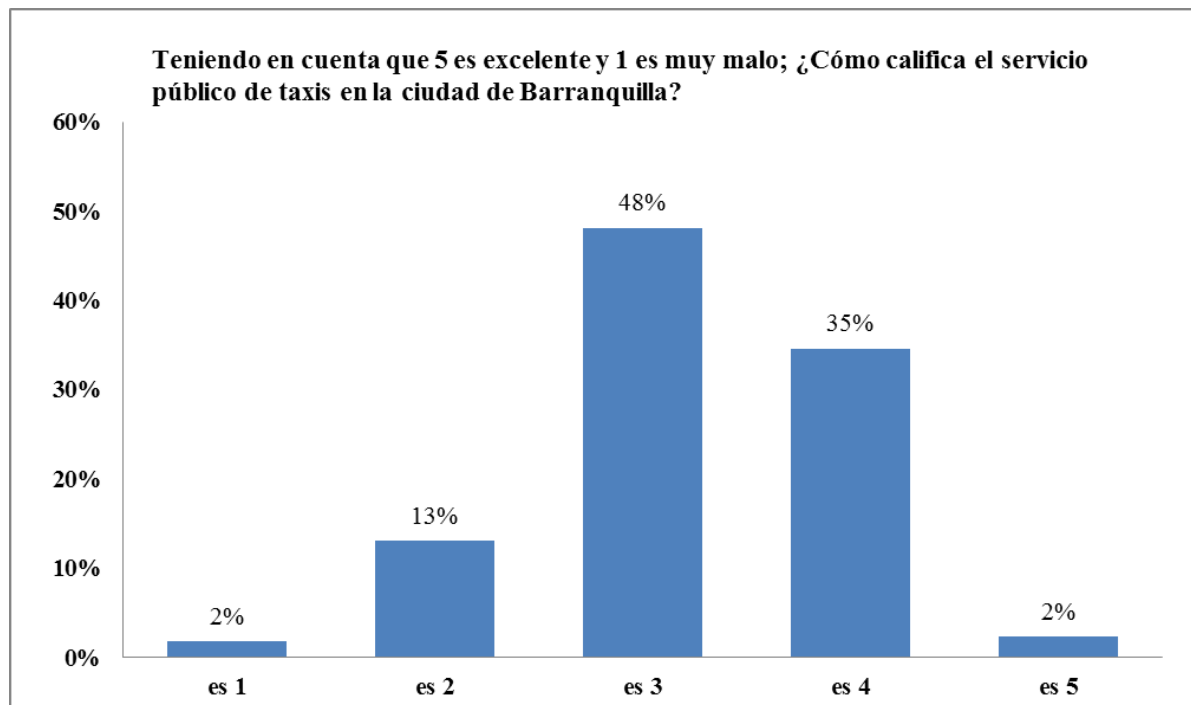


Figura 18. Calificación de los ciudadanos al sistema de servicio público de taxis de la ciudad. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta, cabe resaltar que las personas que viven en la ciudad de Barranquilla tienden a calificar el servicio de taxis como regular con el 48% de la muestra manifestando dicha calificación en la figura 18, en el que el los principales problemas que presenta el servicio es el alto precio de las carreras, la negación por parte de los taxistas de transportar a las personas por motivos de seguridad, distancias largas o tiempo perdido de la jornada diaria a causa del tráfico; sin mencionar también que basado en los resultados de la encuesta, una gran parte de la población se siente insegura mientras utiliza el servicio así como la gran cantidad de barrios en los que poco frecuentan los vehículos tipo taxi, dejando sin cubrimiento de este servicio a muchos sectores de la ciudad y por ende se reflejan los resultados de inconformidad de los ciudadanos respecto al servicio de taxi ofrecido en la ciudad reconociendo la necesidad de las personas por transportarse de manera cotidiana; sin mencionar el tráfico que padece la ciudad en los que hacen más complejo el tema de mejoramiento del servicio público.

Siendo así, deja al descubierto las falencias del servicio de taxis en la ciudad y la identificación de posibles soluciones para mejorar, como maximizar la cobertura de las zonas o barrios de la ciudad, invirtiendo en la flota, u optimizando los tiempos de respuesta de los vehículos frente a la solicitud de servicio en respectivas zonas claves, ideando estrategias para la relocalización de los vehículos, impactando indirectamente en el ahorro de recursos como tiempo, costos y rentabilidad para el incremento de la productividad del negocio de las empresas que prestan el servicio de taxis en la ciudad.

4.2 Descripción de la empresa y funcionamiento del sistema de la prestación de servicio.

Taxis 3222222 Satelital. Es una empresa de Transporte ‘‘Auto taxi Ejecutivo’’ que ofrece soluciones al servicio de transporte tipo taxi para clientes y usuarios de la ciudad de Barranquilla, con el objetivo de garantizar un servicio seguro, oportuno, eficiente y de acuerdo a la normatividad vigente. 3222222 Satelital como empresa de servicios para el sector transporte se compromete a garantizar la eficacia de los servicios que brinda a sus clientes, mejorar continuamente el desempeño organizacional con un enfoque basado en procesos, brindar capacitación permanente a los empleados, garantizar el soporte tecnológico de sus operaciones, seguridad de la información y asegurar el aumento de la satisfacción de clientes y usuarios. (3222222 Satelital, 2016)

La empresa de servicio de taxis 3222222 Satelital es una empresa que tiene dentro de su proceso a la ciudad de Barranquilla organizada por dos sectores, siendo estos, zona Sur y zona Norte en los que cada zona la conforman numerosos barrios, como puntos de referencia o punto de origen para hacer el análisis, distribución y todo su sistema logístico para la ubicación de vehículos tipo taxi en la ciudad.

Haciendo del mapa de Barranquilla zonificado en dos partes. (Zona sur - Zona Norte) y sus clasificados con sus respectivos barrios o lugares claves, vitales para la localización de vehículos de servicio público taxi de la empresa 3222222 Satelital expuesto en la tabla 1.

Tabla 1.

Zonas y barrios definidos por la empresa de taxi satelital.

Zona Sur	Zona Norte
Carlos Meisel	Ciudad jardín
Mequejo	Tabor
Estrellas	Campo alegre
Pradera	Miramar
Olivos	Villa santo
Manga	Autónoma
Esmeralda	Poblado
Buena esperanza	Granadito
Cuchilla villate	Altos del limón
Pueblito	Torcoroma
Metro parque	Altos de Riomar
Malvinas	Riomar
Bosque	Villa carolina
Ceiba	Paraíso villa country
Sierra	Alto prado 2
Victoria	Porvenir
Nieves	Alto prado 1
Ferry	Prado
Simón bolívar	Concepción
Palmas	Thermo flores
Buenos aires	Cementos caribe
Kennedy	Zona industrial
Américas	Las flores
San Luis	Siape
Villa san pedro	Siderúrgica del norte
7 de abril	San francisco
Carrizal	Modelo
Ciudadela 20 de julio	Barrio abajo
Metro centro	Barlovento
Bella arena	Barranquillita
Universal	Centro

Gaviotas	Rosario
Urbanización el parque	Comfamiliar
Villa muvdi	Boston
Arboleda	Bellas artes
Manuela Beltrán	Viejo prado
Moras	Suri salcedo
Robles	Delicias
Almendros	Betania
Aeropuerto	Florida
Hipódromo	Mercedes
Ferrocarril	Olaya
Soledad	Recreo
Villa campestre	Lucero
Puerto Colombia	Alfonso López
Vía Juan Mina	Chiquinquirá
Continentes	San Roque
Villa estadio	Rebolo
Ciudadela metropolitana	Zona franca
Soledad 2000	Chinita
Grana bastos	Montes
Malambo	San José
Urbanización la playa	Carmen
Caujaral	Andes

Nota. Fuente: 3222222 satelital

La empresa 3222222 Satelital tiene un modelo conceptual de servicio de despacho de taxis, estructurado para realizar la prestación del servicio las 24 horas del día, el cual se basa en herramientas tecnológicas, como el GPS, servicios de call center y monitoreo constante de la flota de taxi. El 3222222 Satelital tiene en cuenta una estructura organizacional enfocada en el buen manejo del sistema de la prestación del servicio, la metodología que maneja la compañía es la siguiente:

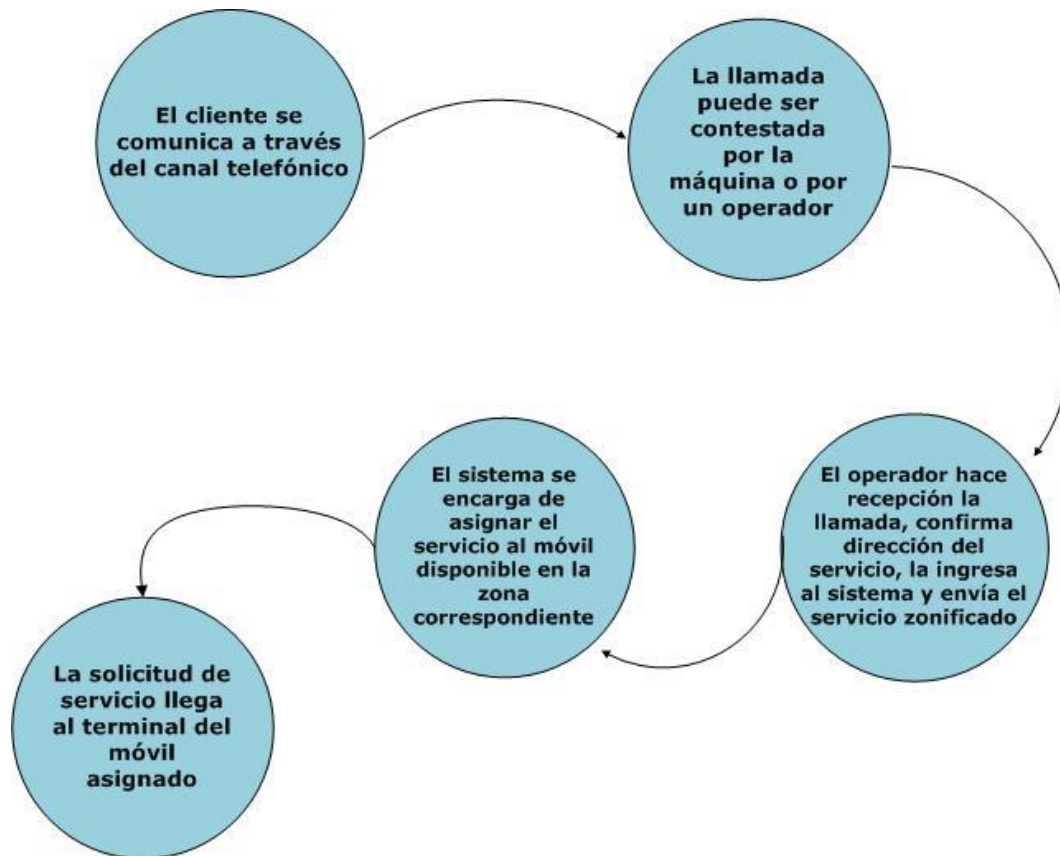


Figura 19. “¿Cómo funciona la central del 3222222 satelital?”. Elaboración propia.

Según el gerente operativo del 3222222 satelital, la empresa cuenta con una flota de 3500 vehículos afiliados en la actualidad, de los cuales la empresa tiene en actividad diaria un aproximado solo del 75% del total de automotores afiliados, puesto que de lunes a viernes en la ciudad se maneja el pico y placa de taxi, sacando el 34% de vehículos por día aproximado. Cabe destacar que nunca está la flota en su totalidad disponible porque todos los vehículos afiliados son libres de trabajar en el horario que deseen, es por ello que la empresa comúnmente trabaja con el 75% en aproximado de los móviles afiliados.

Los registros de pérdida de servicios están entre el 1% y 2%. Según el gerente operativo de la compañía, debido a factores como sobredemanda en algunos días en particular en la ciudad (días festivos, fines de semana con diversas eventualidades y actividades en la ciudad, tráfico, etc.). La empresa del 3222222 satelital cumple comúnmente con un aproximado del 97% de los

servicios solicitados recibiendo en promedio diario entre 13000 y 15000 llamadas al día, integrando solicitudes por la aplicación móvil, llamadas desde telefonía fija y móvil, así mismo agregando servicios físicos como lugares en los que tiene convenio la empresa, siendo estos sitios como hoteles, restaurantes, discotecas, supermercados, entre otros en los cuales la empresa 3222222 satelital ofrece sus servicios de transporte que suma en aproximado 10000 servicios al día.

En los lugares físicos aún la empresa controla el servicio de manera manual, con planillas para pasar dicho reporte a la central sobre los servicios solicitados en esos lugares. Desde la central se registra con un software en los que registran y tienen toda la gestión de la información de los servicios, resultados, indicadores y tendencias, de los cuales se han proporcionado indicadores (Anexo C). Para la recolección de información clave que apoya a la realización del estudio de relocalización de instalaciones móviles.

El servicio de taxis se le califica por factores vitales como, el tiempo, comodidad, rapidez y seguridad. El tiempo lo maneja la empresa mediante la zonificación del vehículo, es decir, el los vehículos más cercanos a la zona o localización de donde se solicita el servicio son a los que se les envía dicha solicitud, el operador le indica al usuario solicitante con un aproximado de tiempo en el que el taxista llegará al lugar donde pide el vehículo o móvil, basado en la distancia de donde se encuentre el vehículo, teniendo en cuenta aspectos como el tráfico y se monitorea al vehículo de forma satelital. Sí el usuario lo solicita desde la aplicación móvil tiene la posibilidad de ver por medio del mapa donde se encuentra el vehículo en tiempo real y en cuantos minutos aproximadamente puede llegar a su ubicación gracias al GPS.

La efectividad del servicio y los tiempos de respuesta no están controlados pero por políticas de la compañía el tiempo máximo de respuesta solo se infiere que después de 15 minutos hay

problemas y puede perderse el servicio, ya que el software emite una alerta que esta demorado y puede perderse el servicio, pues como la compañía se basa en la distancia para indicarle al usuario un estimado de tiempo en el que puede llegar el servicio, una vez pasados 15 minutos se da prácticamente una pérdida de este; es por ello que el operador antes de asignar el móvil, revisa la distancia del vehículo más cercano y la localización donde se solicita el servicio mediante el mapa para definir una respuesta al usuario del tiempo en que puede llegar el móvil (siendo este inferior a 15 minutos).

Una vez la distancia sea demasiado grande, el sistema se lo muestra al operador haciendo este la negación del servicio al usuario solicitante puesto que el vehículo tardaría más de 15 minutos para llegar a la localización de donde se solicita el servicio, cabe destacar que la empresa de taxis, en la central simplemente tiene conocimiento del servicio hasta que el usuario sube al vehículo, siendo esto para la empresa servicio cumplido, puesto que se cumple con los requisitos de tiempo de respuesta a la solicitud; sin embargo no se conoce el destino del usuario, es por ello que no es posible sacar estadísticas de tiempo promedio en que se demore el móvil en un servicio.

Cabe resaltar que la empresa del 3222222 Satelital actualmente se maneja con GPS y demás tecnología avanzada que garantizan el buen servicio y la seguridad de los sistemas de información. La compañía para medir su productividad se compara con otras empresas de taxi de manera mensual. Utilizan aspectos en particular para hacer la medición de la productividad como son:

1. Nivel de afiliados.
2. Numero de servicios despachados al año.
3. Satisfacción en calidad de servicio.

4. Ejecución del benchmarking (Como apoyo al mejoramiento del servicio de la compañía.)

La empresa 3222222 Satelital realiza un informe con los resultados mensuales en materia de productividad de servicio y cubrimiento de estos dando así un panorama que sea base para análisis y estrategias en pos del mejoramiento del servicio de taxis en la ciudad de Barranquilla, manejando un registro de indicadores del proceso central en donde se pueden sacar los datos, siendo origen de todo el registro de información de llamada y solicitudes de servicio, en el que registra la fecha, el día, el total de servicio en esa fecha, la cantidad de vehículos disponibles trabajando, servicios completados del día, cantidad de servicios cancelados y servicios que no se pueden satisfacer por falta de vehículos con su respectivo porcentaje y su nivel de servicio, dando a conocer en detalles por mes como ha sido el comportamiento del proceso de servicio de taxis en la empresa 3222222 Satelital.

Iniciando con los resultados, la empresa realiza unos informes con datos hasta el mes de Junio (Anexo C) el cual proporcionó para el análisis de estos indicadores, de los cuales en servicios completados de los primeros seis meses de 2017 se obtuvo un promedio de 308 764 servicios que lograron satisfacer.

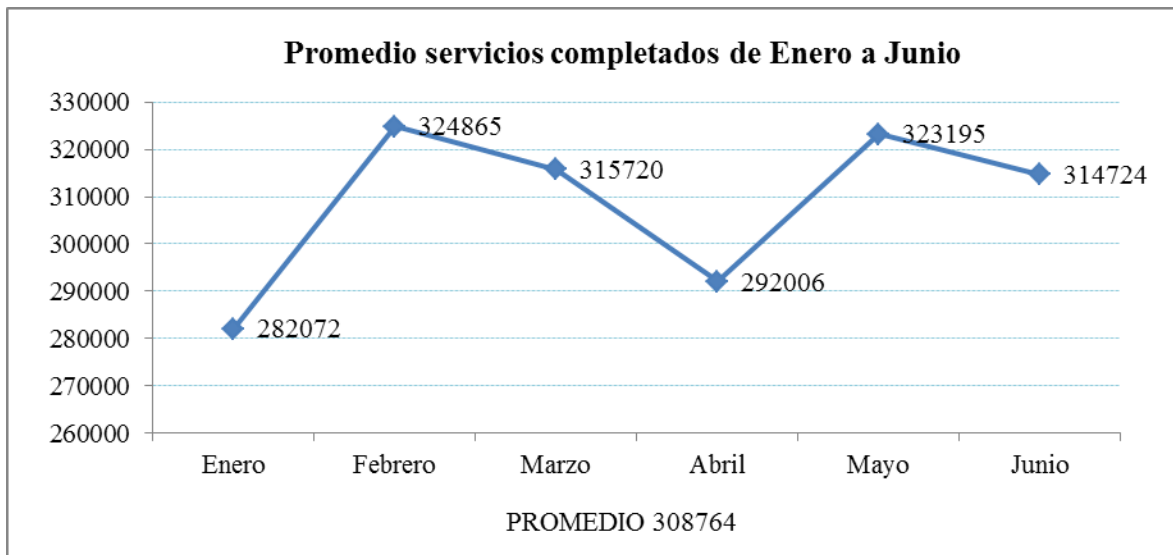


Figura 20. Promedio servicios completados de enero a junio. Elaboración propia.

Así mismo se generaron resultados de los servicios que no lograron realizarse por cancelación de estos mismos por parte del cliente manifestando un promedio de 22105 servicios cancelados.

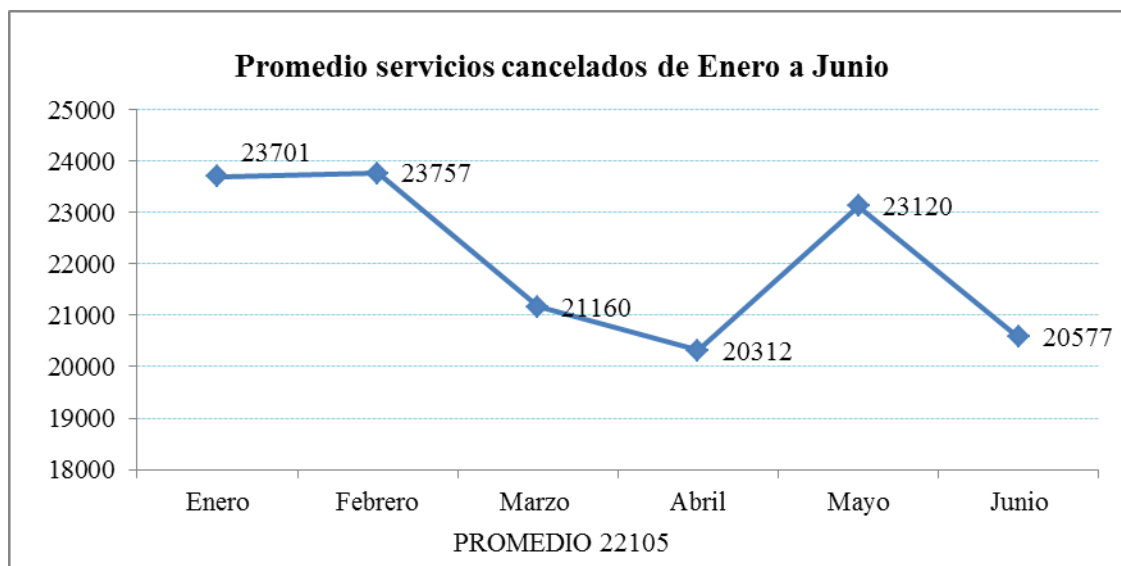


Figura 21. Promedio servicios cancelados de enero a junio. Elaboración propia.

El servicio de taxis por razones naturales y la cantidad de vehículos disponibles en ocasiones no satisface la demanda, es por ello que la empresa tiene en cuenta la cantidad de

servicios que no hay o que no se puede satisfacer siendo la falta de vehículos el factor más influyente de la estadística con un promedio de 6406.

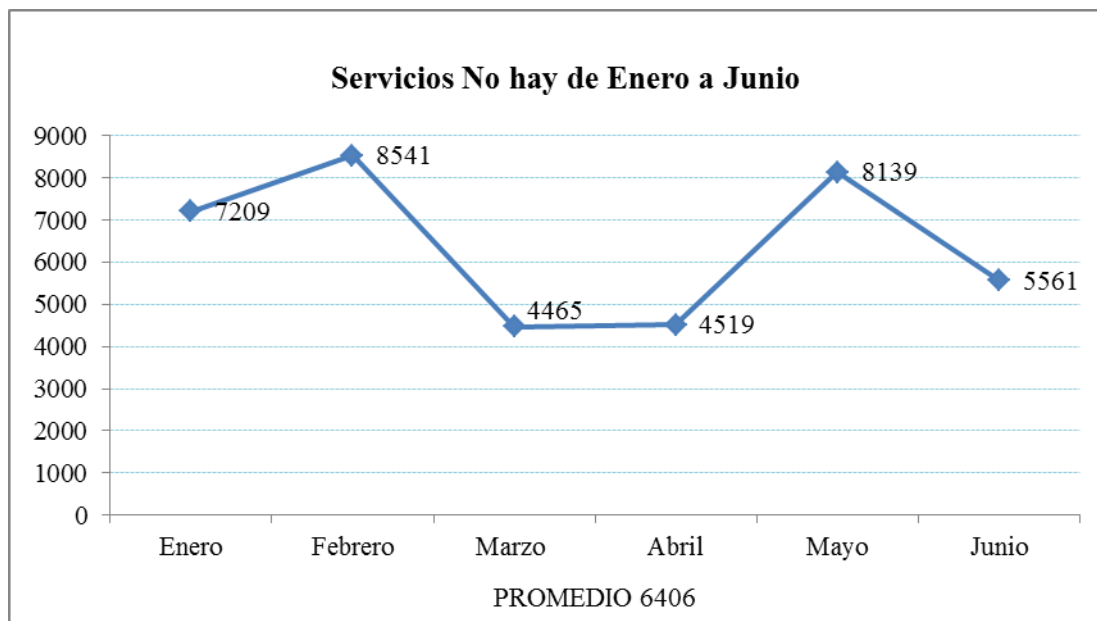


Figura 22. Promedio de servicios no hay de enero a junio. Elaboración propia.

La empresa ejecuta también un promedio de servicio por móvil, el cual manifiesta el resultado de promedio de servicios que realiza un vehículo mensualmente, dando como resultado un promedio general de 4,6 de servicio por móvil en los primeros 6 meses del año.

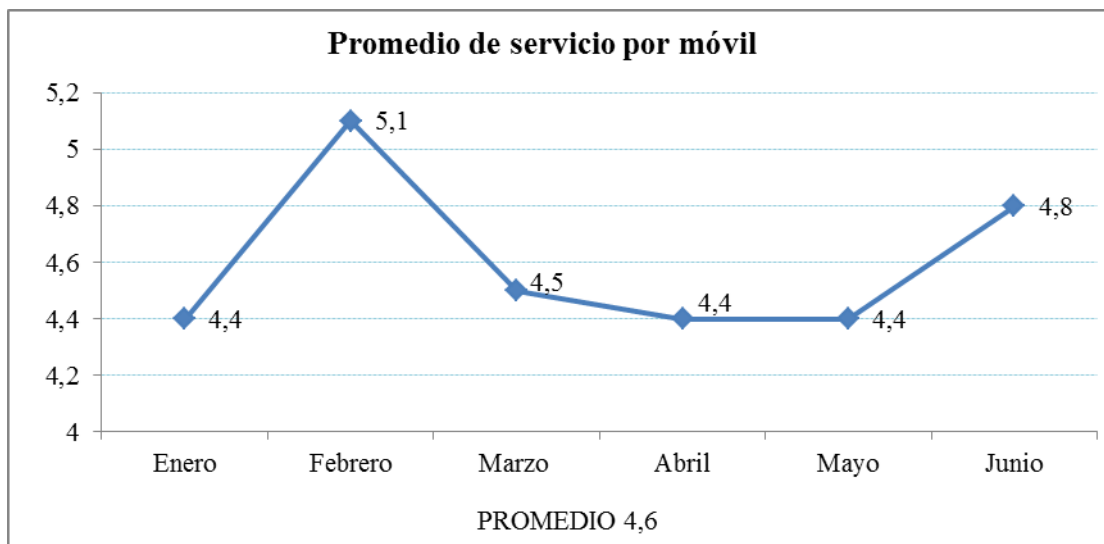


Figura 23. Promedio de servicio por móvil. Elaboración propia.

El registro marca mensualmente la cantidad total de llamadas de cada mes, teniendo el mes de Junio de 2017 una entrada total de llamadas de 425621 de las cuales 246324 fueron por telefonía fija haciendo uso de la línea 3222222 Satelital. Con el uso del #522 para telefonía celular fueron un total 179297 llamadas.

Existen también dos opciones para hacer petición de servicio de taxi, las cuales son:

- Hablando directamente con el operador.
- Automática (Operador automático).

De ambas opciones, 149462 personas tuvieron contacto directo con el operador para solicitar el servicio, arrojando que el 35% de usuarios prefieren de este método.

Por otro lado, 276159 personas prefirieron solicitar el servicio de forma automática arrojando el 65% de usuarios que prefieren pedir su servicio de forma automática. La empresa cuenta con el registro de la cantidad de llamadas mensual entrantes a la empresa, siendo el promedio de 6 meses de 431758 llamadas.

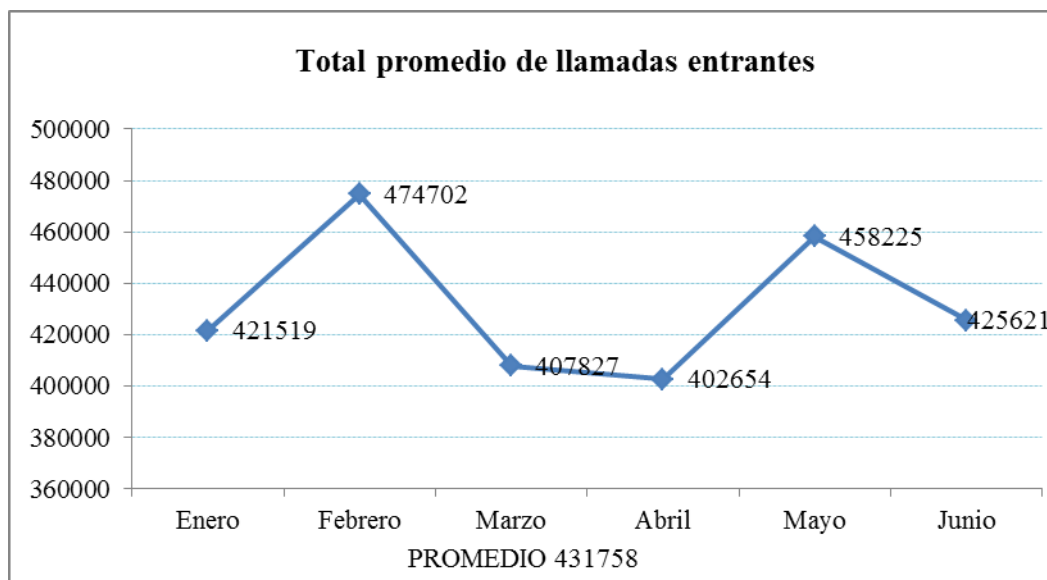


Figura 24. Total promedio de llamadas entrantes. Elaboración propia.

Con respecto a los servicios por aplicación del 3222222 Satelital; Para el mes de Junio de 2017 se han realizado un total de 4810 solicitudes de servicio de taxi, de los cuales se completaron 3166 con un 65,8% de servicios cerrados, en servicios cancelados han sido 291 siendo el 6%, y la cantidad de 1353 de servicios sin concluir por falta de vehículos tipo taxi haciendo el 28,1%.

Para la ejecución del modelo es importante saber que se tomó flota de taxis que en promedio está en actividad, puesto que para contemplar el comportamiento del sistema de relocalización de taxis en la ciudad de Barranquilla en una empresa que presta este servicio, es necesario utilizar la totalidad del parque automotor que sea punto de partida para el desarrollo de la modelación matemática, siendo todo esto un apoyo para el mencionado modelo. Las solicitudes de los usuarios fueron propuestas como una muestra para la ejecución de los escenarios, teniendo como punto de partida principalmente los vehículos de la flota, todo esto con la finalidad de desarrollar un análisis del comportamiento de la relocalización de instalaciones móviles de la compañía prestadora de servicio de taxi.

Así mismo, el vehículo disponible una vez asignado un servicio este debe cumplir con las políticas de la compañía en donde el tiempo de respuesta sea inferior o igual a 15 minutos. Para lograr realizar el estudio, hay que tener en cuenta las distancias de los vehículos desde su localización hasta la localización del cliente y reconocer si con dicha distancia puede estimar el tiempo de respuesta, con esto, se basó en el promedio de velocidad en el que se conduce en la ciudad de Barranquilla, que según un estudio realizado por Cámara de comercio, movilidad y transporte, (2006). La velocidad promedio en la que se conduce en la ciudad es de 22.4 km/h. siendo punto de partida para determinar la referencia de la relación entre los 15 minutos de respuesta y la distancia ligada a este tiempo.

Teniendo en cuenta la información anterior, los datos que se tuvieron en cuenta en la recopilación de información que fue de ayuda para la modelación matemática fueron los siguientes:

Tabla 2.

Datos de la caracterización.

DATOS	
Vehículos adscritos	3500
Vehículos en promedio con los que trabaja la compañía	2310
Velocidad promedio con la que se conduce en la ciudad de Barranquilla	22.4 km/h
Tiempo máximo de respuesta por vehículo a una solicitud.	15 minutos

Nota. Elaboración propia.

Sin embargo se tiene en cuenta que los 2310 vehículos no están disponibles para ejecutar el servicio, ya que algunos se mantendrán ocupados al momento de que los usuarios estén solicitando móviles, simulando la situación real de que todos los vehículos de la flota y de la zona en donde se solicita el servicio no estén disponibles (estando estos en servicio) y que los vehículos más cercanos al lugar donde se pide el servicio no necesariamente cumpla con disponibilidad para cubrir esa demanda.

Sabiendo que el tiempo de respuesta juega un papel importante, los vehículos localizados o cercanos a la zona de solicitud que se encuentren disponibles y puedan cumplir con el tiempo de respuesta y distancia no necesariamente por esas condiciones pueden ir estos móviles simultáneamente al lugar de pedido, pues la asignación del vehículo que va a cubrir esa solicitud

del usuario será el que se encuentre en la zona más cercana en términos de distancia y tiempo para llegar a la zona solicitada.

En el caso de los servicios incumplidos se dan cuando no hay móviles disponibles en la zona donde se solicitó el taxi, es decir, ninguno de los taxis cercanos al lugar de la solicitud podría cumplir por algún factor, sea de tiempo de respuesta o de disponibilidad.

Capítulo 5: Desarrollo del modelo matemático de relocalización de los vehículos de servicio público taxi en una empresa en la ciudad de Barranquilla

5.1 Modelo de referencia.

El modelo desarrollado se basó en el estudio llamado ‘‘Diseño de un modelo matemático para el despacho de vehículos de emergencias médicas en Colombia’’ de Rengifo, Baldoquín y Escobar (2012) que profundiza sobre el sistema o mecanismo de relocalización de instalaciones móviles de las ambulancias en la ciudad de Cali con la finalidad de dar una solución a los problemas de localización, despacho y relocalización de vehículos de una importante empresa prestadora de servicios de emergencias. (p. 2)

En dicho estudio, se propone un modelo matemático para la asignación y/o despacho de vehículos de emergencias médicas de una reconocida compañía que presta esos servicios en Colombia, a partir del estudio del modelo de operación de dicha compañía se presenta un modelo de Programación Lineal Entera Mixta para el problema de despacho de vehículos, este trabajo responde al problema de enrutamiento de vehículos en varios depósitos con ventanas de tiempo.

El estudio sobre el servicio hospitalario de ambulancias dispone de una flota heterogénea de tres tipos de vehículos clasificados en vehículo de consulta (VC), Transporte de Ambulancia Básica (TAB) y Transporte de Ambulancia Medicalizada (TAM). Los vehículos de tipo TAM pueden atender cualquier tipo de llamada, los de tipo TAB no pueden atender emergencias y los VC solo pueden atender consultas, buscando asignar llamadas a vehículos, de tipo operativa, así como reasignar vehículos en zonas estratégicas, depende de la experticia y habilidad del operador, donde una no adecuada decisión puede influir negativamente en decisiones de llamadas futuras.

Para la resolución se conoce la localización de los diferentes tipos de vehículo, que son las posiciones en que culminaron o deberían encontrarse según la ejecución anterior del modelo, las ventanas de tiempo (sin límite inferior) para atender una llamada en una localización dada, y horarios de disponibilidad de los vehículos. El modelo de referencia se formuló basado en políticas de la compañía siendo fieles al sistema que manejan actualmente.

Política 1: Asignar la llamada y/o despachar el vehículo que se encuentre en la localización a menor tiempo de desplazamiento de la localización de atención de la llamada entrante, independientemente de su estado (Ocupado o disponible).

Política 2: Asignar la llamada y/o despachar el vehículo con menor tiempo de respuesta, es decir el vehículo que independientemente de su estado (Ocupado o disponible) puede llegar a la localización de atención de la llamada entrante en el menor tiempo posible.

Política 3: Aplica el mismo principio de la Política 2 dando cierta preferencia a los vehículos con menor capacidad, entendiendo por ello que pueden atender menos tipos de servicio.

Buscando minimizar o invertir el menor tiempo de desplazamiento posible de cada una de las ambulancias para la atención de clientes en la ciudad.

5.2 Modelo propuesto.

El modelo presentado fue formulado a través de la información brindada por la empresa 3222222 Satelital en la que se basó en las políticas y restricciones de la empresa para poder realizar un modelo confiable, frente al estudio que se buscó realizarle a la empresa de taxis, siendo este un modelo de programación lineal. La compañía tiene definido gran cantidad de servicios para la población, de los cuales el servicio público de taxis es el que se tomó de referencia para realizar el modelamiento matemático; logrando evidenciar la importancia de la

prestación de servicio de calidad con diversos aspectos que la compañía tiene en cuenta, como manejo de tiempos (Tiempo de llegada del vehículo desde su “seudobase” hasta el lugar donde es solicitado, con un tiempo límite para que esto se cumpla), asignando llamadas de los usuarios a los diferentes móviles distribuidos en la ciudad, teniendo en cuenta que las solicitudes de estos servicios, la central únicamente se las emite a los vehículos disponibles y cercanos a la zona donde se solicitó, teniendo en cuenta que el vehículo asignado al servicio o el que se va a dirigir a cumplir con la demanda debe tener la capacidad de llegar antes de 15 minutos, basados en la distancia en la que el vehículo se encuentra, observada desde la central gracias a las herramientas de GPS y el sistema de software que la compañía posee, logrando observar en tiempo real la localización del vehículo para emitir el servicio.

Teniendo en cuenta lo complejo que se torna asignar un servicio a un usuario o los componentes que se deben tener para ejecutar las solicitudes, el agente de la central cuenta con unos aspectos importantes para realizar la asignación, dichos aspectos son:

Aspecto 1: Asignar el servicio al vehículo o móvil que se encuentre en la localización a menor tiempo de desplazamiento de la localización de la llamada del usuario solicitante teniendo en cuenta que el vehículo se encuentre disponible.

Aspecto 2: Asignar la llamada y/o despachar el vehículo con menor tiempo de respuesta, es decir el vehículo de estado disponible pueda llegar a la localización de atención de la llamada entrante en el menor tiempo posible.

Aspecto 3: Poseer un parque automotor limitado que haga que ante cada llamada no necesariamente puede existir un vehículo disponible para llegar al lugar solicitado dentro del tiempo máximo reglamentado por respuesta de solicitud.

Para efectos de la modelación matemática no se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- ❖ Tiempo para responder la llamada.
- ❖ Tiempo para asignar el vehículo por operador/a.
- ❖ Tiempo computacional para asignar el vehículo en el sistema con GPS.
- ❖ Tiempo para confirmar la aceptación del servicio.

Estos tiempos no se consideran dentro del modelo dado que la estrategia de mejora que se estudia sólo afecta el tiempo de desplazamiento del taxi disponible desde su ubicación hasta la del usuario.

Conjuntos:

I: $\{1, 2, \dots, m\}$ Conjunto de vehículos de la flota indexado en i .

J: $\{1, 2, \dots, n\}$ Conjunto de llamadas indexados en j .

Parámetros:

L_i : Posición del vehículo i , $i \in I$.

P_j : Localización del usuario j , $j \in J$.

d_{ij} : Distancia del vehículo en la posición i al usuario j . $i \in I$ y $j \in J$.

Y_i : Estado del vehículo i , $i \in I$. $Y_i \in (\text{Ocupado}, \text{disponible})$. Siendo 1 disponible y 0 ocupado.

o : Distancia máxima equivalente al tiempo de respuesta de un vehículo para hacer el desplazamiento desde la localización i hasta la localización j .

Variables.

$X_{ij} = 1$ si se asigna el vehículo i al cliente j . De lo contrario toma el valor de 0.

Función objetivo.

$$Z \text{ máx. (Cobertura)} = \sum_i \sum_j X_{ij} - \lambda \sum_i \sum_j X_{ij} d_{ij}$$

Siendo $\lambda \in [0,1]$ un factor de ponderación que asigna un peso dentro de la función objetivo este coeficiente establece una importancia relativa de cada objetivo.

Restricciones

$$\diamond X_{ij} \leq Y_i \quad (1)$$

$$\diamond X_{ij} d_{ij} \leq 0, \forall j \in J, \forall i \in I \quad (2)$$

$$\diamond \sum_{j \in J} X_{ij} \leq 1, \forall i \in I \quad (3)$$

$$\diamond \sum_{i \in I} X_{ij} \leq 1, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\diamond X_{ij} \text{ es binaria } \{0,1\}$$

La función objetivo consta de unos términos que responden a dos objetivos por lograr, se quiere maximizar la cobertura para cubrir la demanda en la ciudad cumpliendo con el servicio en menor tiempo y tratando de aumentar la disponibilidad de vehículos logrando el incremento de la efectividad del servicio.

Máx. Cobertura=Servicio completados-Servicios incumplidos

Z1: $\sum_i \sum_j X_{ij}$ Maximizar el número de clientes atendidos

Z2: $\sum_i \sum_j X_{ij} d_{ij}$ Minimizar la distancia recorrida por todos los vehículos

La restricción (1) hace referencia a la disponibilidad de vehículos, puesto que de lo contrario no se podrán asignar a un servicio. Busca como respuesta la aceptación del servicio, si y solo si el móvil está disponible para tomar el servicio, es decir, que para poder asignar un vehículo a un cliente el estado del vehículo debe ser disponible.

La restricción (2) manifiesta que los vehículos deben de estar a una distancia menor a 5,6 Km (5600 m) ya que esta distancia estima un tiempo igual o inferior de respuesta a la solicitud de 15 minutos, Hallado de la siguiente manera:

$$x = \frac{(22,4 \text{ km})(15 \text{ min})}{60 \text{ min}} = 5,6 \text{ km} = 5600 \text{ m}$$

Para estimar el valor del parámetro se tiene en cuenta el tiempo de respuesta, que a su vez se basa en la política de la compañía, haciendo claridad en que el vehículo será asignado y se desplazará siempre y cuando su tiempo de respuesta sea inferior o igual a 15 minutos que equivale aproximadamente a 5.6 km, teniendo en cuenta el promedio de velocidad en el que se suele conducir en la ciudad de Barranquilla (22.4 km). (Cámara de comercio de Barranquilla, transporte y movilidad, 2005) para llegar a la localización en que se solicitó el servicio.

La restricción (3) Revela que un único móvil se va a desplazar desde su localización o pseudobase i al lugar donde es solicitado el servicio j , cumpliendo la demanda.

La restricción (4) muestra que el cliente o usuario en su localización j se le asignará solamente un vehículo para cumplir la solicitud.

Para hallar los datos utilizados para la modelación se creó una tabla con las distancias de los vehículos desde su respectiva localización i a j en la que se puede ver en el anexo 3; tomando varias coordenadas de manera aleatoria de la ciudad de Barranquilla partiendo del área de la ciudad para determinar desde los puntos i a j la distancia euclidiana que es base para reconocer que distancia tiene cada vehículo en su posición hasta la posición de la solicitud, así mismo se creó una referencia basado en la velocidad promedio en que se conduce en la ciudad de Barranquilla, para determinar cuántos kilómetros en aproximado equivalen los 15 minutos de recorrido (5.6 Km) para dar respuesta a tiempo a la solicitud de los usuarios y que sea punto de partida para realizar el análisis y resolución del comportamiento del modelo matemático. Así mismo, la disponibilidad de los vehículos se determinó de forma aleatoria para los 2310 vehículos siendo fundamental en el momento de aplicar la modelación matemática.

5.3 Escenarios alternativos de prueba.

El objetivo de la elaboración de los escenarios es comparar el desempeño del modelo propuesto a partir de varias estrategias para la relocalización de los vehículos en la ciudad, de manera que se encuentre la más idónea dependiendo a casos o comportamientos particulares presentados en Barranquilla en algún momento o eventualidad, teniendo en cuenta las políticas de despacho actuales. Para ello se desarrollaron 15 escenarios de prueba aparte del primer escenario que permiten simular las soluciones que se pueden obtener teniendo en cuenta los aspectos y políticas que tiene la empresa prestadora de servicio de taxi.

La parte experimental consta de realizar un análisis del comportamiento de los vehículos y los clientes a partir de situaciones muy particulares en la ciudad, buscando la estrategia más acertada para satisfacer la demanda en el mejor tiempo de respuesta y minimizar los servicios incumplidos por factores como largas distancias e insuficiencia de taxis al momento que se solicitan.

Los escenarios constan de una combinación de posibles situaciones presentadas:

Distribución de clientes de forma aleatoria – Distribución de taxis de forma aleatoria. Se distribuyen las coordenadas de los clientes y vehículos de manera aleatoria dentro del límite de coordenadas que recrean la ciudad.

Distribución de clientes de forma concentrada – Distribución de taxis forma concentrada. Las coordenadas de los clientes son distribuidas de manera muy cercana, haciendo la demanda de taxis más concentrada en un punto aproximado y en el caso de los vehículos se distribuyen las coordenadas de igual forma que los clientes en un punto o lugar muy cercano.

Distribución de clientes de forma aleatoria – Distribución de taxis de forma concentrada. Se distribuyen las coordenadas de los clientes de manera aleatoria dentro del límite de

coordenadas que recrean la ciudad y se distribuyen las coordenadas de los taxis en un punto muy cercano de manera que queden todos concentrados en una zona en común.

Distribución de clientes de forma concentrada – Distribución de taxis de forma aleatoria.

Las coordenadas de los clientes son distribuidas de manera muy cercana, haciendo la demanda de taxis más concentrada en un punto aproximado y se distribuyen las coordenadas de taxis de manera aleatoria dentro del límite de coordenadas que recrean la ciudad.

La finalidad de la ejecución de los escenarios fue determinar cuáles son las estrategias más importantes que nos permitan distribuir o relocalizar los vehículos tipo taxi de la manera más ideal, dependiendo del comportamiento de los clientes al momento de solicitar un servicio de taxi. Estos comportamientos pueden darse en momentos particulares en la ciudad como eventos masivos, manifestaciones políticas, horarios puntuales y zonas de mayor demanda de servicios de taxi, etc. Asegurando la maximización de la cobertura de vehículos en la ciudad y minimizando los tiempos de respuesta que promuevan el incremento de la productividad de la compañía prestadora de servicio de taxi.

La distribución de taxis de forma aleatoria o de forma concentrada son posibles estrategias que puede determinar la empresa para responder a los diferentes tipos de demanda dependiendo al comportamiento de la distribución de los clientes, ya que es importante resaltar que la distribución de clientes es una variable no controlable, puesto que la empresa no tiene el poder de controlar o dominar la posición de los clientes, a diferencia de la distribución de los taxis en donde esta puede ser inducida por la compañía.

Estos escenarios son aplicados a nivel ciudad, zonas (Sur y Norte como lo expone la empresa), localidades y calles principales, que sería la clasificación para realizar los escenarios que marcarían o demostrarían la diferencia del comportamiento de los taxis frente a las

solicitudes de servicio, para evidenciar tiempos de respuesta y evidenciar cual sería la mejor forma de distribución de taxis en la ciudad, siendo una estrategia para el cubrimiento optimo del servicio estudiándolo en cada uno de estos niveles, viendo a partir de los resultados de la modelación cuales serían los escenarios o niveles idóneos para la relocalización de vehículos tipo taxi en la ciudad en momentos o instantes particulares. Así mismo, estos niveles se prueban para buscar una proporcionalidad razonable en el tiempo de solución del problema, pues se asume en un principio que si se intenta resolver a nivel ciudad el modelo con la herramienta utilizada, el tiempo de resolución de este puede ser mayor y quizás convendría manejarlo a una escala menor, realizando modelos más pequeños, como los niveles definidos anteriormente.

Como resultado de probar las diferentes distribuciones en los niveles empleados se obtienen los escenarios mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3.

Escenarios de experimentos del sistema de relocalización de taxi.

Escenario	Distribución taxis y clientes	Nivel
1	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	Ciudad
2	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
3	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
4	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	
5	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	Zonas
6	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
7	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
8	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	
9	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	Localidades
10	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
11	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
12	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	
13	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	Calles principales
14	Distrib. Aleatoria de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
15	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Concentrada de clientes.	
16	Distrib. Concentrada de taxis - Distrib. Aleatoria de clientes.	

Nota. Elaboración Propia.

Cabe destacar que el escenario actual es la ejecución del modelo matemático, siendo la distribución de clientes aleatoria y distribución de taxis de manera aleatoria en la ciudad.

Las cantidades de vehículos tipo taxi y clientes para la ejecución de los escenarios respecto al nivel de estudio se definió en la tabla 4 de la siguiente manera:

Tabla 4.

Cantidad de vehículos tipo taxi y clientes para la ejecución de los escenarios.

Nivel	Ciudad	Zonas	Localidad	Calles principales
No. de taxis	2310	1155	450	60
No. Clientes	10	5	3	3

Nota. Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que a nivel zona (2 definidas por la empresa de servicio de taxis) se hizo la división de la flota activa que trabaja en la ciudad a la mitad, para hacer el estudio del comportamiento del modelo a esa escala, igualmente con las localidades sabiendo que la ciudad se divide en cinco (Norte centro histórico, Riomar, Suroccidente, suroriente y metropolitana) arrojando que cada localidad debe tener una cantidad de vehículos como se expone en la tabla 4. Así como para el nivel de calles principales, definiendo una cantidad considerable de vehículos localizándolos estratégicamente en cada una de las calles principales o comunes de la ciudad definidas a criterio propio (Av. Murillo, Cordialidad, Calle 30, Cra 51B, Cra 38, Calle 76).

Capítulo 6: Análisis y resultados

6.1 Análisis de resultados obtenidos de la modelación.

En la resolución de la modelación matemática se observaron muchos aspectos de análisis, como los tiempos de respuesta, las distancias, la distribución de los vehículos y la disponibilidad de los taxis, para el escenario actual, la distribución de 10 clientes que solicitan el servicio de taxis, siendo esta la cantidad de llamadas ingresadas por minuto en promedio a la central de la empresa de taxis (3222222 satelital, 2017) teniendo en cuenta que generalmente a diario ingresan 11300 solicitudes de servicio.

$$\frac{(11300 \text{ solicitudes servicio})(1 \text{ hora})}{24 \text{ horas}} = 470 \text{ solicitudes de servicio por hora}$$

$$\frac{(470 \text{ solicitudes servicio})(60 \text{ segundos})}{3600 \text{ segundos}} = 8 \text{ solicitudes de servicio por minuto aproximados}$$

A partir de esto, se realizó la modelación matemática en Solver, la herramienta integrada de Excel, sin embargo la herramienta no funcionó para resolver la evaluación del sistema de asignación de vehículos tipo taxi a los clientes porque se estaba considerando toda la flota de taxis que en promedio trabaja de manera diaria para la empresa, uniéndose a esto las restricciones y la cantidad de variables que nutren el modelo, cargaban la herramienta de Solver para la resolución del modelo matemático.

La modelación matemática se pudo resolver de manera completa y con la flota real junto a la muestra de clientes y las restricciones gracias a la herramienta Open Solver, que no es más que la extensión de la herramienta Solver, permitiendo resolver modelos más grandes, con una capacidad mayor, para trabajar con más de 40000 variables y restricciones (opensolver.org, 2017), logrando ser la herramienta que permitió la resolución del modelo a escala real y permitir tener una percepción más clara sobre el sistema de asignación de taxis en la ciudad.

Para entender la capacidad de las herramientas que fueron prueba para resolver el modelo se puede observar en la tabla 5, el límite máximo de cada una de estas dos herramientas:

Tabla 5.

Comparación herramienta Solver vs Open solver

Herramientas de solución	Variables	Restricciones
Solver	200	100
Open Solver	∞	∞

Nota. Fuente: opensolver.org

Para el análisis de los escenarios, se ejecutaron las 4 combinaciones a nivel ciudad, zonas, localidades y a nivel de calles principales, teniendo en cuenta que estratégicamente se utilizan cantidades de vehículos y clientes dependiendo al nivel en que se generan las combinaciones, para generar cada escenario con datos lógicos y llevados un poco a la realidad.

Teniendo en cuenta todas las restricciones, el modelo con la herramienta de Open Solver arrojó la asignación del vehículo localizando las coordenadas del taxi y el cliente, determinando la distancia en que se encuentra y enviando el vehículo que cumpla con la distancia, disponibilidad y tiempo acertado cumpliendo con los 3 aspectos mencionados en la modelación propuesta.

Gracias a la herramienta Open Solver se lograron ejecutar cada uno de los escenarios, corrido en un computador con procesador Core i3-3227U CPU 1.90GHz, con memoria RAM de 4Gb y sistema operativo de 64 bits. Corriendo el modelo en cada uno de los escenarios y analizando el comportamiento de la herramienta al momento de la resolución, teniendo en cuenta el tiempo de corrida y el peso generado a cada archivo de Excel por la cantidad de variables,

restricciones y datos incluidos a Open Solver, siendo esto determinante para encontrar en mejor tiempo la solución de cada uno de los escenarios del modelo matemático.

Con base en lo anterior, se arrojaron los siguientes resultados:

Teniendo en cuenta que:

DAT: Distribución aleatoria de taxis.

DCT: Distribución concentrada de taxis.

DCC: Distribución concentrada de clientes.

DAC: Distribución aleatoria de clientes.

Tabla 6.

Combinación nivel ciudad.

	NIVEL CIUDAD			
	Escenario actual	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
	DAT - DAC	DAT – DCC	DCT – DCC	DCT – DAC
	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)
Cliente 1	348,08	71,84	10	1152,21
Cliente 2	375,25	60	7	7570,75
Cliente 3	341,25	550	1	5082,09
Cliente 4	318,23	493,27	4	8047,76
Cliente 5	180,08	589,21	12	8793,53
Cliente 6	383,6	332	20	3776,53
Cliente 7	111,66	398,8	4,4	804,5
Cliente 8	384,38	171,26	11,6	2961,85
Cliente 9	374,2	583,63	13,15	3582,88
Cliente 10	291,62	247,39	4	1616,34
PROMEDIO	310,845	349,74	8,715	4338,844
Tiempo de solución del modelo con openSolver	13' 11"	12' 27"	12' 11"	12' 13"

Nota. Elaboración propia

De acuerdo a los datos reflejados en la tabla 6 se observa que el escenario 3 es el que manifiesta la distancia promedio de arribo de los taxis a los clientes más baja, con un aproximado de 9 metros, que equivalen a un menor tiempo de respuesta, siendo una estrategia óptima, sin embargo, este escenario se puede materializar solamente en eventualidades particulares, donde se sepa con anticipación la ubicación de mayor concentración de la demanda en un determinado punto para asignar las sugerencias a los taxistas más cercanos a la zona, efectuando mayor concentración de vehículos en ese lugar.

El escenario actual logró demostrar también que es uno de los mejores a parte del escenario 3 es uno de los escenarios que responde a una distancia relativamente considerable de 310 metros en promedio, haciéndolo muy bueno para la satisfacción de la demanda.

La empresa de taxis, en casos de una distribución de clientes aleatoria debería ubicar los vehículos de la misma manera, puesto que a nivel ciudad manifiesta resultados óptimos al momento de presentarse este tipo de escenarios.

En casos de que se presente una distribución de clientes de tipo concentrada, los vehículos deberían ubicarse cerca de la zona donde está la demanda, cubriendo y garantizando el servicio a los clientes en un menor tiempo de respuesta. Por otro lado, el modelo se logró correr con Open Solver, asignando los vehículos más cercanos en paralelo a los 10 clientes, cumpliendo con las restricciones correspondientes, generando una respuesta en 12 minutos con 11 segundos para el escenario 3, siendo este el tiempo más rápido de respuesta para el modelo a nivel ciudad.

Por otro lado, el escenario 4 fue el escenario que menos cumplió con la demanda de vehículos a nivel ciudad, puesto que solamente cumplió con 7 clientes, haciendo de esta estrategia de las más ineficientes puesto que la distancia promedio de los vehículos hacia los clientes es sumamente grande, logrando generar pérdida de posibles usuarios por el tema de largas distancias recorridas.

Tabla 7.

Combinación nivel zonas

	NIVEL ZONAS			
	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
	DAT - DAC	DAT – DCC	DCT – DCC	DCT – DAC
	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)
Cliente 1	106	181,85	13,6	1213,19
Cliente 2	110,34	160,65	15,13	1543
Cliente 3	157	108,5	12,5	592,7
Cliente 4	70	192,15	7	378
Cliente 5	216,16	248,21	7,28	304
PROMEDIO	131,9	178,272	11,102	806,178
Tiempo de solución del modelo con open Solver	57’’	57’’	57’’	58’’

Nota. Elaboración propia

La tabla 7 refleja que el escenario con las menores distancias para la llegada al cliente es la del escenario 7, teniendo en cuenta que es el escenario que simula la concentración de vehículos tipo taxi y los clientes, generando una cercanía entre estos y por ende es posible el cumplimiento a los clientes, a nivel de zonas se refleja que la distancia promedio de este escenario es de 11 metros, haciendo una óptima estrategia para el mejoramiento y la optimización del sistema, relocalizando los vehículos de esa manera. La relocalización de los vehículos a nivel de zonas logra mantener un equilibrio en la ciudad, distribuyendo la mitad de la flota activa en una zona (Norte) y el otro resto en otra zona (Sur), de manera que cada lugar de la ciudad cuente con vehículos tipo taxi siempre cercanos, logrando maximizar la cobertura con la equidad de vehículos y monitoreando el control la cantidad de vehículos en cada zona.

El otro escenario óptimo es el escenario 5, de manera que se distribuyan de forma aleatoria por la zona a los vehículos, logrando ver en la tabla 7 la distancia promedio de 131,9 metros siendo una distancia ideal para respuesta del servicio a los clientes haciendo ideal este escenario a comparación de los restantes. Sin embargo cabe destacar la disminución en distancia promedio que se obtuvo con el escenario 8 con la combinación de distribución concentrada de taxis – Distribución aleatoria de clientes, siendo de 806,17 metros mejorando considerablemente a comparación del escenario 4 a nivel ciudad presentado en la tabla 6 con la misma combinación haciendo mejor la relocalización de vehículos a nivel de zona.

El modelo con Open solver logró asignar a los 5 clientes de forma paralela en cada uno de los escenarios con tiempo aproximado de 1 minuto, haciendo ideal esta estrategia de repartir los vehículos por zonas, puesto que se pueden asignar vehículos automáticamente gracias a Open solver en un minuto a 5 clientes.

Tabla 8.

Combinación nivel localidades

	NIVEL LOCALIDADES							
	Escenario 9 DAT - DAC	Escenario 10 DAT - DCC	Escenario 11 DCT – DCC	Escenario 12 DCT - DAC				
	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)				
Cliente 1	214,66	148	13,41	955,4				
Cliente 2	169	444	99	1933				
Cliente 3	103,81	512	35,8	1235				
PROMEDIO	162,49	368	49,40333333	1374,466667				
Tiempo de solución del modelo con open Solver	11’’	10’’	10’’	10’’				

Nota. Elaboración propia

De acuerdo a los datos reflejados en la tabla 8 se logró observar que a nivel localidades de la ciudad de Barranquilla, es idónea la aplicación de escenario 11, seguida del escenario 9, las

cuales hacen énfasis en la combinación de concentración de taxi - concentración de clientes y distribución aleatoria de vehículos – distribución aleatoria de clientes respectivamente. Logrando manifestar una disminución de distancias entre vehículo asignado y cliente solicitante, los tiempos de solución del modelo en cada uno de los escenarios y la cobertura en cada una de las localidades de la ciudad, demostrando que la asignación de los 3 clientes de forma simultánea se ejecutó en 10 segundos aproximados. Las distancias más cortas en promedio las reflejaron los escenarios 11 con 49,4 metros y 9 con 162 metros de distancia en aproximado, generando una óptima solución de mejora para el sistema de relocalización de taxis.

Tabla 9.

Combinación nivel calles principales

	NIVEL CALLES PRINCIPALES			
	Escenario 13 DAT - DAC	Escenario 14 DAT – DCC	Escenario 15 DCT – DCC	Escenario 16 DCT - DAC
	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)	Distancia de taxi asignado (m)
Cliente 1	59,39	59,39	45,17	13
Cliente 2	47,07	41,88	35,84	156,08
Cliente 3	50	78,1	4	105,9
PROMEDIO	52,15333333	59,79	28,33666667	91,66
Tiempo de solución del modelo con open Solver	5’’	6’’	5’’	6’’

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos presentados en la tabla 9 se evidencia claramente que la mejor opción es la del escenario 15 con una distancia promedio por solicitud de cliente de 28 metros, haciendo énfasis en la combinación de taxis y clientes concentrados en un punto, haciendo el mejor escenario para la relocalización de taxis a nivel de calles principales. Así como la distribución de vehículos de manera aleatoria con clientes distribuidos aleatoriamente

correspondientes al escenario 13, puesto que la distancia promedio de cliente taxi es de 52,1 metros haciéndolo el mejor escenario en condiciones normales o cotidianas en la ciudad, ubicando los vehículos en las vías principales, siendo estratégicamente eficiente para cercanía a las diferentes direcciones donde el cliente solicite el servicio.

Los tiempos de solución del modelo en cada uno de los escenarios con Open solver son de 6 segundos para la asignación simultanea de 3 clientes teniendo en cuenta la cantidad de vehículos para estos escenarios reflejados en la tabla 9, logrando identificar que es una de las mejores estrategias hacer la relocalización de los vehículos a nivel de calles principales. Por otro lado, es importante analizar los tiempos de respuesta de la modelación en cada uno de los niveles, empezando que a nivel ciudad el tiempo de asignación de los 10 clientes es más grande a comparación a la resolución del modelo de los demás niveles definidos en la investigación, esto se debe a que la cantidad de variables, restricciones y demás componentes del modelo en este nivel cargan considerablemente la herramienta utilizada para realizar la respectiva asignación de servicios demandados.

El nivel de calles principales evidencia que la asignación de los servicios se hace de una manera más rápida en cualquiera de los escenarios que pertenecen a este, haciéndola una de las estrategias más óptimas para el mejoramiento del servicio, asignando vehículos más rápidos, con mejores tiempos de respuesta y relocalización clave de los vehículos en la ciudad, haciendo un buen cubrimiento práctico para la maximización de cobertura de taxis en la ciudad.

6.2 Estrategias de mejoramiento para el sistema de relocalización del servicio público taxi.

Logrando evaluar el sistema de relocalización de servicio público taxi, se puede inferir que es uno de los temas más complejos pero también con gran diversidad de soluciones para

proponer estrategias de mejoramiento para el incremento de servicios completado, generando satisfacción a los usuarios y crecimiento en las utilidades para la empresa prestadora de servicio de taxis. De acuerdo con los resultados observados en las corridas realizadas, se logran sacar algunas estrategias que pueden favorecer al sistema de servicio público tipo taxi, logrando satisfacer a los clientes y generar utilidades en pos al crecimiento de las empresas prestadoras de este servicio, las cuales son:

Relocalizar los vehículos tipo taxi a nivel de calles principales de la ciudad con una distribución aleatoria de taxis a lo largo de las calles principales y distribución aleatoria de clientes, puesto que las calles principales son las vías de referencia y de mayor flujo vehicular que conectan a las vías alternas, barrios y zonas claves de la ciudad, haciendo la relocalización de los vehículos de esta manera una estrategia ideal, pues lograría conectar muchos lugares o ubicaciones donde estos se encuentren permitiéndole al taxi moverse con mayor facilidad desde el punto donde se encuentran hasta el lugar de solicitud. Demostrado así por los resultados de la tabla 9 en el que refleja un promedio bajo.

En el caso de eventos masivos (deportivos, culturales, festividades, conciertos, etc.), concentrar los taxis en esos lugares particulares causaría un gran incremento de servicios a cumplir, puesto que se estaría aprovechando la alta demanda por parte de los usuarios o clientes que solicitan los vehículos en esos lugares, de manera que es una gran opción tener en cuenta por parte de la empresa reconocer cuales serían las eventualidades más particulares en la ciudad, con fechas y horarios estipulados, ayudando a la logística de asignación de vehículos a cubrir dicha zona y mantener el equilibrio de cobertura en la ciudad, para conservar la calidad del servicio y evitar los servicios incumplidos.

Haciendo énfasis en la mejora y optimización de los procesos, sería bueno considerar un software o herramienta tecnológica que permita la asignación de taxis de forma simultánea, evitando en la inversión de operadores para la asignación de vehículos, con una herramienta parecida a Open Solver o con una de propósito específico se lograrían asignar automáticamente los vehículos que cumplan con las condiciones y aspectos estudiados en la investigación, ahorrando tiempo al cliente solicitante y una vez tenido en cuenta todas las anteriores estrategias también evitaría mayores tiempos de espera de arribo de los taxis a la ubicación de los clientes, siendo esta una estrategia integral que aportaría en el crecimiento de las empresas prestadoras de servicio de taxi.

Sugerir a los taxistas por medio de su terminal las zonas o direcciones con posibles servicios futuros, de manera que se controle de alguna manera los sectores que tengan poca presencia de taxis y así mantener el equilibrio de la flota activa en cada una de las zonas de la ciudad contribuyendo en una mayor cobertura que genere preferencias por calidad y eficiencia del servicio.

Por otra parte, inyectarle a la compañía una inversión a la flota, lograría con altas probabilidades un incremento de servicios completados y en menor distancia de recorrido para el arribo hacia los clientes siempre y cuando se distribuyan de la mejor manera en la ciudad, teniendo en cuenta que hay días, temporadas o franja horaria en los que se manifiesta una sobredemanda y la empresa no tiene la capacidad para abastecer los servicios solicitados por falta de vehículos o disponibilidad de ellos.

Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros

Con la evaluación del sistema de relocalización de vehículos tipo taxi y gracias a la caracterización y el análisis basado en la modelación matemática, se logró llegar con la investigación que el sistema actual es bueno pero por falta de aprovechamiento de herramientas tecnológicas y otros aspectos de tipo logísticos, han generado servicios incumplidos y falta de cobertura en algunas zonas claves de la ciudad, es por ello que se puede considerar que puede ser optimizado el proceso de ubicación y relocalización de los vehículos para la satisfacción de la demanda, logrando alcanzar distancias cortas de arribo del taxi a la ubicación del cliente y por ende menor tiempo de respuesta.

Basados en toda la investigación se puede inferir que una de las mejores estrategias que se pueden implementar para el proceso de asignación de taxis es relocalizar los vehículos por calles principales de manera aleatoria, logrando mayor tráfico de vehículos en estas vías logrando ser conexión a las diferentes calles secundarias de la ciudad, para una respuesta fácil y rápida a los clientes con los taxis al momento de una solicitud, así como la estrategia de concentración de los vehículos en un punto en el que los clientes se encuentren concentrados y lograr asegurar los servicios que se puedan generar en ese sector. Las estrategias de mejoramiento se lograron revelar gracias al modelo matemático y su respectiva resolución con Open Solver, aportando esta herramienta la corrida de dicho modelo y dejando en manifiesto las distancias en que se encontraba un vehículo de un cliente dependiendo al escenario creado.

El estudio del sistema de relocalización de servicio público taxi logró manifestar los puntos débiles o aspectos a mejorar para las empresas que prestan este servicio, puesto que con el desarrollo y análisis de esta investigación se lograron encontrar estrategias para el ajuste y la búsqueda del mejoramiento continuo en el sistema de transporte público en la ciudad como la

disminución de tiempos de respuesta, menor distancia recorrida entre vehículo y cliente, respondiendo así a la demanda, maximizando la cobertura en la ciudad y logrando el incremento de servicios cumplidos, arraigando un incremento en las utilidades que se refleja en el crecimiento de la productividad de las empresas que prestan el servicio de taxi.

La investigación aporta herramientas y estrategias que permiten a la optimización del sistema de asignación de taxis en la ciudad, y métodos de relocalización de los vehículos dependiendo a la eventualidad y comportamiento de los clientes en momentos particulares, permitiéndole a las empresas de taxis aplicación de diversas metodologías para el desarrollo y crecimiento del servicio que prestan los vehículos de transporte público, aportando en practicidad, calidad, efectividad, comodidad, dinamismo y cobertura, reflejando en los usuarios satisfacción de contar con un servicio que cumpla con todos sus requerimientos al momento de solicitar un taxi en la ciudad, apuntando en este aspecto al mejoramiento en la calidad de vida de los Barranquilleros.

Para futuros estudios sobre este campo es recomendable incorporar en la modelación matemática información referente al origen de las llamadas y la identificación del destino de dicho cliente, para estudiar las distancias de desplazamiento del vehículo hacia el lugar donde se encuentra el cliente y al lugar a donde este quiera dirigir, sin omitir también el estudio individual de los taxistas, reconocer la cantidad de servicios que estos puedan tener al día y como sería su comportamiento en una jornada de trabajo, todo esto con la finalidad de hacer una evaluación global del mismo. Aunque este estudio se centró las distancias de desplazamiento del taxi hasta el usuario, es de interés determinar qué otros tiempos inciden en la rapidez de respuesta del servicio y cómo se pueden mejorar.

Haciendo énfasis en la implementación de las estrategias, se analizar al detalle las consecuencias que se producirían en el sistema de relocalización puesto que todas las variables están relacionadas y se pueden ver afectadas al modificarlas. Otra de las ideas que se pueden materializar con futuros estudios es la implementación de herramientas de simulación que midan el tráfico, velocidad de los flujos vehiculares en distintos periodos de tiempo e incluso medición en tiempo real, con la finalidad de obtener resultados semejantes a la realidad, logrando hallar estrategias para flexibilizar el tiempo máximo de respuesta que tiene la empresa a un tiempo más grande que considere los factores como zonas horarias difíciles.

Importante también destacar el hecho de que en futuras investigaciones se haga uso de un software diferente que emplee distancias Manhattan en lugar de distancias euclidianas. Finalmente la búsqueda constante por la mejoría de los procesos lograría el crecimiento de la productividad de las empresas prestadoras de servicio de vehículos tipo taxi, estudiando cada uno de los frentes y aspectos de los que se rodea el sistema de relocalización de vehículos de transporte público, logrando la efectividad en los servicios que promueva el crecimiento y desarrollo de nuevas tecnologías y sostenibilidad del negocio del servicio público en la ciudad.

8. Referencias

- 3222222 Satelital. (2017). 3222222satelital.com. 20 de Junio 2017. Recuperado de <http://www.3222222satelital.com/satelital/>
- Abbass, H. A., Sarker, R., & Newton, C. (2001). PDE: a Pareto-frontier differential evolution approach formulti-objective optimization problems. *Evolutionary Computation*. 7-9. <https://doi.org/10.1109/CEC.2001.934295>
- Aguilar, E. (2015). Localidades de Barranquilla. [Figura]. Recuperado de <http://ernestoaguilar.co/blog/localidades-barranquilla-sin-recursos>
- Alsalloum, O., & Rand K. (2006). Extensiones a modelos de localización de vehículos de emergencia. *ELSEVIER* 33 (9), 2725–2743. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2005.02.025>
- AMB asume como autoridad del transporte público individual, tipo taxi. (2017). *Elheraldo.co*. Retrieved 19 December 2017, from <https://www.elheraldo.co/barranquilla/amb-asume-como-autoridad-del-transporte-publico-individual-tipo-taxi-412991>
- Arias, Y., & Mora, C. (2011). Pre factibilidad del proyecto implementación de un nuevo modelo operativo para el despacho de taxis. *Soluciones de postgrado EIA* 4(7), 85-102. Recuperado de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/345/337>
- Cámara de comercio de Barranquilla. (2006). Seguimiento a la movilidad en Barranquilla. 9. Recuperado de <http://www.camarabaq.org.co/wp-content/uploads/2015/09/Presentaci%C3%B3n-Seguimiento-Movilidad-Barranquilla-2005.pdf>

- Cano, D., Muñoz, L., & Solarte, G. (2010). Sistema de identificación automática de clientes para despacho de taxis y administración de información histórica. *Scientia et technica* 3(46), 222-225. <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.193>
- Carro, R., González, D. (2012). Localización de instalaciones. *NÜLAN 1*, 1-21. Recuperado de <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1619>
- ¿Cómo va Barranquilla según sus habitantes? (2015). *Elheraldo.co*. Retrieved 30 January 2018, from <https://www.elheraldo.co/local/asi-se-desarrollo-la-presentacion-del-informe-de-barranquilla-como-vamos-195942>.
- Cuartas, B. (2009). Metodología para la optimización de múltiples objetivos basada en AG y uso de preferencias (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Daskin, M.S. (1983). A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science* 17, 48-70. <https://doi.org/10.1287/trsc.17.1.48>
- Davari, S., Zarandi, M., & Turksen, I. (2013) A greedy variable neighborhood search heuristic for the maximal covering location problem with fuzzy coverage radii. *Knowledge-Based Systems* 41, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2012.12.012>
- Delgado, J., & Barragán, G. (2012). Atención de emergencias en la ciudad de Bogotá. *Entérese Boletín Científico Universitario* 33(12), 44-55.
- Departamento administrativo nacional de estadística (DANE). (2005). Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by tabusearch. *Location Science*, 5(2), 75-88. [https://doi.org/10.1016/S0966-8349\(97\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0966-8349(97)00015-6)
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabusearch heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Comput*, 27(12), 1641–1653. [https://doi.org/10.1016/S0167-8191\(01\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8191(01)00103-X)
- Guzmán, V., Masegosa, A., Pelta, D., & Verdegay, J. (2014). Manejo de incertidumbre en el Problema de Localización de Cobertura Máxima: Una revisión con énfasis en el enfoque difuso. En F. Bobillo (Presidencia), *Tecnologías y lógica Fuzzy*. Simposio llevado a cabo en el XVII congreso Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas, Zaragoza, España.
- Haghani, A., & Yang, S. (2007). Real-time emergency response fleet deployment: concepts, systems, simulation & case studies. *Dynamic fleet management*, 38, 133–162. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71722-7_7
- Lee, D., Cheu, R., Wang, H., & Teo. (2004). A Taxi Dispatch System Based on Current Demands and Real-Time Traffic Conditions. *Transportation Research Record*, 1882(1), 3-10 . DOI: 10.3141/1882-23
- Maciejewski, M., & Nagel, K. (2013). Simulation and dynamic optimization of taxi services in MATSim. *Transportation science*. Recuperado de http://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2013/13-05/2013-06-03_Maciejewski_Nagel.pdf
- Mason, A. (2017). Open Solver (2.9.0) [Software]. Descargado de: <https://opensolver.org/installing-opensolver/>
- Molina, J. (2016). Problema de optimización de rutas de vehículos con aspectos medioambientales (Tesis doctoral). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11441/45274>

- Monarchi, E., Hendrick, E., & Plane, R., (2007). Simulation for fire department deployment policy analysis. *Decision Sciences*, 8 (1), 211-227. DOI: 10.1111/j.1540-5915.1977.tb01078.x
- Murray, T., Matisziw, T., & Wei, H., (2008). A Geocomputational heuristic for coverage maximization in service facility siting. *Transactions in GIS*, 12(6), 757–773.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01125.x>
- Niebles, J. (2013). Análisis de estrategias para la disminución de tiempos de respuesta en el servicio de despacho de taxis (Tesis de maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10818/8291>
- Ocaña, B., & Jimmy, Y. (2017). Creación de una empresa que brinde servicio de taxi por medio de dispositivos móviles en la ciudad de Lima. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/9947>
- Opensolver.org. (2017). Open Solver. Berlin: Word Press. Recuperado de <https://opensolver.org/>
- Ortega, M. (2008). Utilizacion de metodos cuantitativos para el analisis de problemas de localizacion en logistica inversa (Tesis doctoral). Recuperado de <http://oai:oa.upm.es/1738/>
- Ortega, M. (2010) Desarrollo de un sistema de gestión de servicio de taxis que optimiza rutas de transporte. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/555>
- Osorio, D., Sares E., & Sabando M. (2011). Implementación de sistemas de seguridad y control para las unidades de servicio de taxi ejecutivo en la ciudad de Machala. (Tesis de grado). Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19066>

- Parra, O. (2010). Revisión del estado del arte en modelos de localización y relocalización de vehículos para atención de emergencias, *Elementos* (1), 193-553.
<http://dx.doi.org/10.15765/e.v1i1.193>
- Pozo, P. (2014). Aplicación web para despacho de carreras con tecnología GPS aplicado al servicio de taxis de la compañía Ejecutivo S.A. de la ciudad de Ibarra (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/2332>
- Prado, A. (2015). Desarrollo de una plataforma para el análisis del potencial de electrificación de flotas de taxis (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://oa.upm.es/37360/>
- Ramos, F. (2012). Sistema de localización de taxi basado en Android, PHP y MYSQL. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10317/2943>
- Rengifo, A., Baldoquín, M., & Escobar, J. (Septiembre de 2012) Diseño de un modelo matemático para el despacho de vehículos de emergencias médicas en Colombia. En J. Miranda (Presidencia), *Investigación operativa*. Simposio llevado a cabo en el congreso Latino-Iberoamericano de investigación operativa (CLAIO), Rio de Janeiro, Brasil.
- ReVelle, C., & Hogan, K. (1989). The Maximum Availability Location Problem. *Transportation Science*, 23(3), 192-200. <https://doi.org/10.1287/trsc.23.3.192>
- Reyes, L. (2015). Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones (Tesis de maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10818/15448>
- Rodríguez, A. (2016). Modelo de simulación para analizar el problema de relocalización de las ambulancias de un servicio de emergencia medico (SEM). (Tesis de maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10495/5741>

- Rodríguez, A. K., Osorno, G. M., & Maya, P. A. (2016). Relocalización de vehículos en Servicios de Emergencias Médicas: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*, 12(23), 163-202.
<http://dx.doi.org/10.17230/ingciencia.12.23.9>.
- Salazar, M. (2003) Plan de negocios para una empresa de gestión de los servicios de taxi por geo posicionamiento y despacho automático desde la nube para la ciudad de Lima. (Tesis de postgrado) Recuperado de: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/1913>
- Sanz, B. (2015). Localizacion de servicios: Modelos de cubrimiento (Tesis pregrado).
Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14018>
- Sasaki, S., Comber, A., Suzuki, H., & Brunsdon, C. (2010). Using genetic algorithms to optimize current and future health planning - the example of ambulance locations. *International Journal of Health Geographics*, 9, 4. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-4>
- Solar, D. (2013). Análisis y dimensionamiento del servicio de taxi en una ciudad (Tesis de máster). Recuperado de
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25853/TFM.pdf?sequence=1>
- Vergara, J., & Quesada, V. (2009). *Análisis cuantitativo con WINQSB*. Recuperado de
<https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/01/manual-winqsb.pdf>
- Villarreal, M. (2015). *Escuela de modelación y métodos numéricos*. Mexico: CIMAT.
Recuperado de
http://modelacion2015.eventos.cimat.mx/sites/modelacion2015/files/Maria_Guadalupe_Villarreal-Optimizacion_Multi-objetivo1.pdf
- Villegas, J. G., Castañeda, C., & Blandón, K. A. (2012). Mejoramiento de la localización de ambulancias de atención pre hospitalaria en Medellín Colombia con modelos de

optimización. En J. Miranda (Presidencia), *Investigación operativa*. Simposio llevado a cabo en el congreso Latino-Iberoamericano de investigación operativa (CLAIO), Rio de Janeiro, Brasil.

Wong, K., & Bell, M. (2006). The Optimal Dispatching of Taxis under Congestion: a Rolling Horizon Approach. *Journal of Advanced Transportation*, 40(2), 203-22.

<https://doi.org/10.1002/atr.5670400207>

Yue, Y., Marla, L., & Krishnan, R. (2012). An efficient simulation-based approach to ambulance fleet allocation and dynamic redeployment. *Proceedings of the national conference on artificial intelligence and the 24th Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference*, 1, 398–405.

Zadeh, L. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE trans on Automatic Control*, 8(1), 59-60. <https://doi.org/10.1109/TAC.1963.1105511>

Zambrano, J. & López, E. (2012) Diseño de optimización del modelo de la red de distribución y transporte de empresa panificadora de productos de consumo masivo. (Tesis de maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10906/68156>

9. Anexos

Anexo A. Encuesta percepción del servicio público de taxi en Barranquilla

Ficha técnica

Modo de investigación: Encuesta

Cuestionario: Estructurado de 7 preguntas con respuesta única.

Tipo de encuesta: Personal – Intercepción en paradas públicas

Marco muestral: Usuarios de transporte publico taxi, mayores de 18 años.

Trabajo de Campo: Abril 2017.

ENCUESTA

1. ¿En el momento de utilizar el servicio de taxi que tan seguro se siente en el tiempo que permanece en el vehículo?

- ☐ Muy seguro
- ☐ Seguro
- ☐ No tan seguro
- ☐ Muy Inseguro

2. ¿Usted ha sido víctima o testigo de alguna situación de inseguridad mientras utilizaba el servicio de taxi?

- ☐ Si
- ☐ No

3. ¿En su localidad, barrio, condominio o urbanización, con qué frecuencia circulan los vehículos de servicio público taxi?

- ☐ Muy frecuente
- ☐ Poco frecuente
- ☐ Escasamente
- ☐ No circulan los vehículos de servicio público taxi.

4. ¿Al momento de solicitar un servicio, el taxista se le ha negado alguna vez a llevarlo a su destino?

- ☐ Si
☐ No

5. El costo del transporte en relación al servicio que brinda el taxista es:

- ☐ Muy alto
☐ Alto
☐ Razonable
☐ Bajo
☐ Muy bajo

6. ¿En el momento en que solicita un servicio de taxi desde su ubicación, aproximadamente cuanto tiempo tarda en llegar el servicio al lugar donde usted se encuentra?

- ☐ De 1 a 4 minutos
☐ De 5 a 8 minutos
☐ De 9 a 15 minutos
☐ De 15 minutos en adelante
☐ Nunca llegó

7. Teniendo en cuenta que 5 es excelente y 1 es muy malo; ¿Cómo califica el servicio público de taxis en la ciudad de Barranquilla?

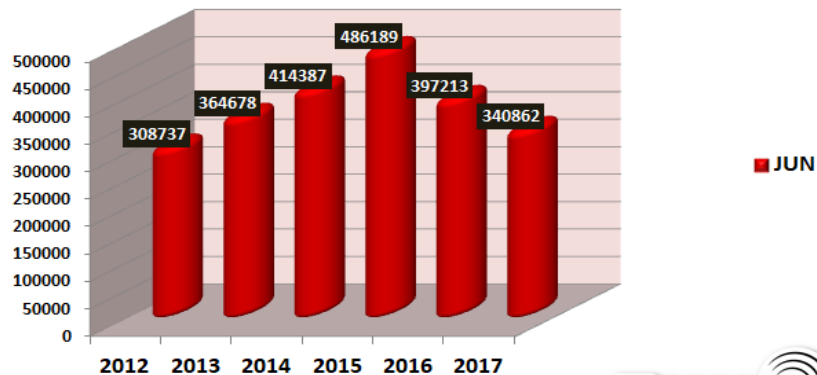
- 1 ☐
2 ☐
3 ☐
4 ☐
5 ☐

Anexo B. Instrumento para la recopilación de información de la empresa de taxi

1. ¿Cuánta cantidad de taxis tienen a su servicio?
2. ¿Incide o tienen en cuenta la cantidad de vehículos para suplir la demanda de servicios en la ciudad? (¿tienen contabilizados un porcentaje aproximado de vehículos que funcionan en el día y que porcentaje de vehículos están disponibles en la noche-madrugada?).
3. ¿Han estimado la cantidad de servicio que se demanda por día, semana, mes, temporada?
¿Cómo lo miden?
4. ¿Qué criterios en detalle tienen para saber que un taxi se relocalice o dirija de una zona a otra en el momento que se solicita un servicio? (Distancia, tiempo, horario, etc.)
5. ¿En que se basan para determinar el tiempo de llegada del taxi al lugar donde se solicitó un servicio? (¿Cuál es el tiempo máximo de respuesta para que llegue el servicio solicitado?).
6. ¿Tienen en cuenta, estiman, reconocen o tienen identificado el tiempo promedio en el que un taxista se demore en un servicio?
7. ¿Tienen una medida de efectividad para saber si el sistema que manejan en la empresa es mejor al de la competencia? ¿Cuál es o bajo qué criterio la miden?

Anexo C. Informe de gestión central de comunicaciones empresa 3222222 Satelital

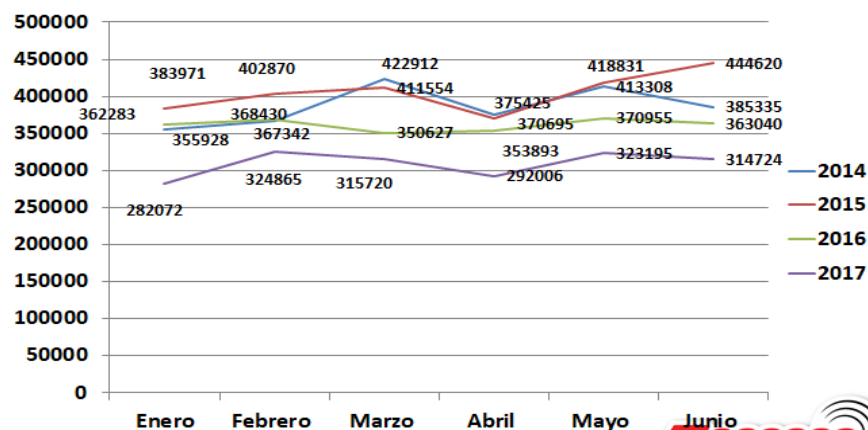
Comparación anual del mes de Junio (Servicios totales)



SÍGUENOS: @Taxi3222222



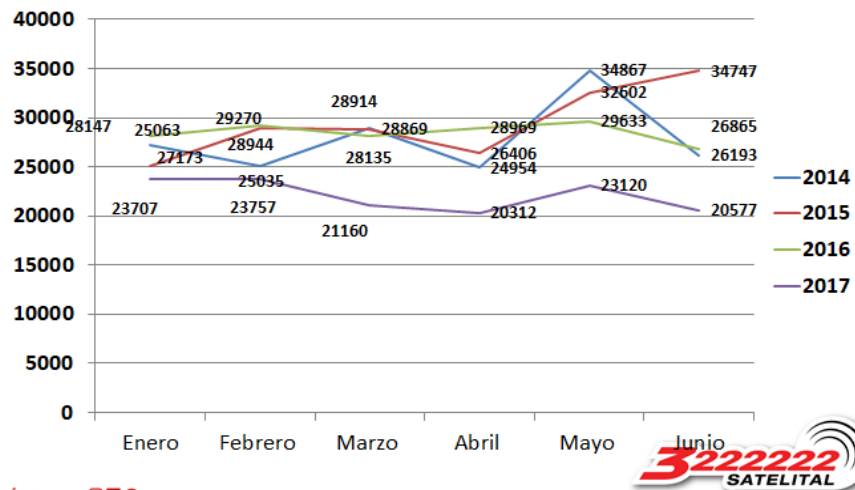
Servicios completados por mes



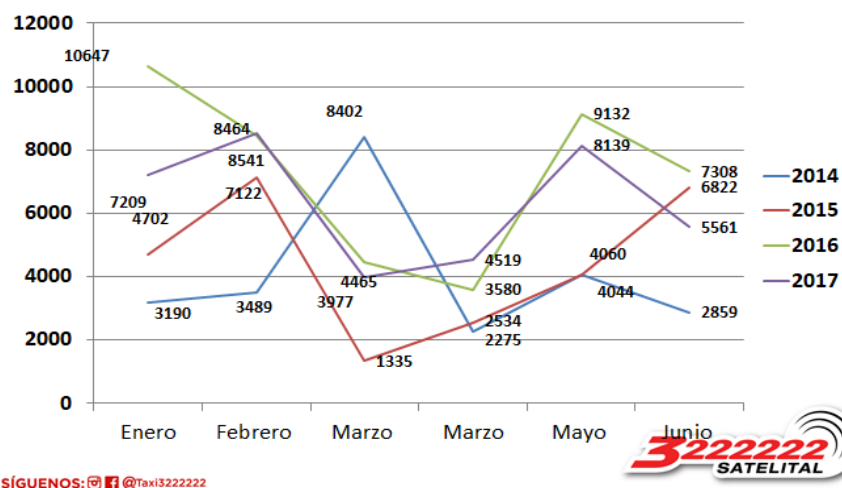
SÍGUENOS: @Taxi3222222



Servicios cancelados por mes



Servicios no hay por mes

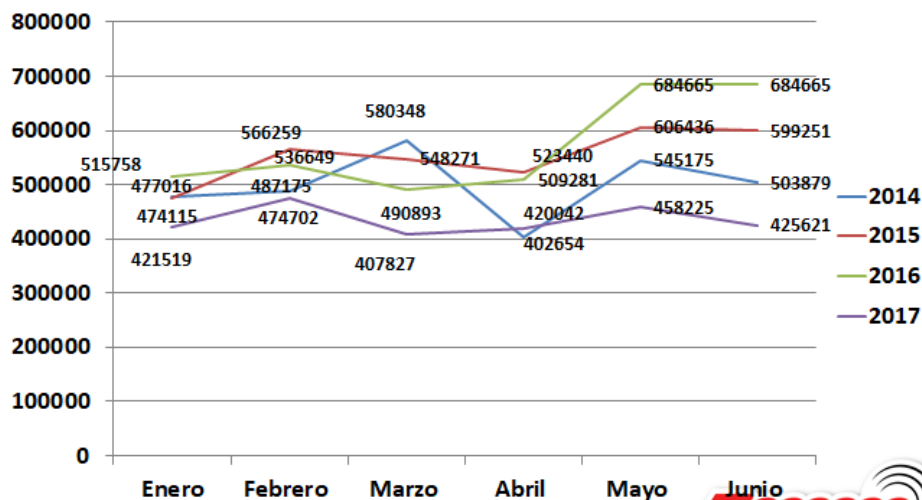


Servicios Junio 2017

REGISTRO DE INDICADORES DE PROCESO CENTRAL

AUTOCAB APLICACION CAMIONETAS											
Fecha	Día	Total Servicio	Total Móviles Trabajando	Total HR	%	Total QSC	%	Total No Hay	%	Nivel Servicio AUTOCAB	Nivel de Servicio Total
01-jun-2017	JUEVES	11102	1912	10308	92,8	689	6,2	105	0,9	5,4	5,4
02-jun-2017	VIERNES	12748	1922	11863	93,1	697	5,5	188	1,5	6,2	6,2
03-jun-2017	SÁBADO	14498	2234	13373	92,2	991	6,8	134	0,9	6	6
04-jun-2017	DOMINGO	11044	2417	10183	92,2	760	6,9	101	0,9	4,2	4,2
05-jun-2017	LUNES	11025	2168	10099	91,6	676	6,1	250	2,3	4,7	4,7
06-jun-2017	MARTES	9276	2086	8557	92,2	583	6,3	136	1,5	4,1	4,1
07-jun-2017	MÉRCOLES	10217	2092	9463	92,6	149	1,5	605	5,9	4,5	4,5
08-jun-2017	JUEVES	9662	2104	8978	92,9	596	6,2	88	0,9	4,3	4,3
09-jun-2017	VIERNES	10904	2120	10127	92,9	640	5,9	137	1,3	4,8	4,8
10-jun-2017	SÁBADO	12036	2423	11189	93	734	6,1	113	0,9	4,6	4,6
11-jun-2017	DOMINGO	10520	2427	9636	91,6	776	7,4	108	1	4	4
12-jun-2017	LUNES	10372	2183	9601	92,6	596	5,7	175	1,7	4,4	4,4
13-jun-2017	MARTES	9625	1846	8960	93,1	569	5,9	96	1	4,9	4,9
14-jun-2017	MÉRCOLES	9579	2106	8926	93,2	576	6	77	0,8	4,2	4,2
15-jun-2017	JUEVES	9760	2065	9106	93,3	567	5,8	87	0,9	4,4	4,4
16-jun-2017	VIERNES	13842	2182	12758	92,2	883	6,4	201	1,5	5,8	5,8
17-jun-2017	SÁBADO	15961	2438	13925	87,2	967	6,1	1069	6,7	5,7	5,7
18-jun-2017	DOMINGO	15824	2478	14357	90,7	1095	6,9	372	2,4	5,8	5,8
19-jun-2017	LUNES	10563	2058	9660	91,5	781	7,4	122	1,2	4,7	4,7
20-jun-2017	MARTES	10930	2073	10195	93,3	574	5,3	161	1,5	4,9	4,9
21-jun-2017	MÉRCOLES	10111	2141	9475	93,7	535	5,3	101	1	4,4	4,4
22-jun-2017	JUEVES	10471	2132	9737	93	603	5,8	131	1,3	4,6	4,6
23-jun-2017	VIERNES	11867	2126	11031	93	696	5,9	140	1,2	5,2	5,2
24-jun-2017	SÁBADO	12211	2163	11333	92,8	772	6,3	106	0,9	5,2	5,2
25-jun-2017	DOMINGO	12351	2503	11304	91,5	916	7,4	131	1,1	4,5	4,5
26-jun-2017	LUNES	8142	2249	7498	92,1	581	7,1	63	0,8	3,3	3,3
27-jun-2017	MARTES	10365	2191	9714	93,7	557	5,4	94	0,9	4,4	4,4
28-jun-2017	MÉRCOLES	10931	2127	10244	93,7	584	5,3	103	0,9	4,8	4,8
29-jun-2017	JUEVES	10990	2099	10277	93,5	611	5,6	102	0,9	4,9	4,9
30-jun-2017	VIERNES	13935	2131	12847	92,2	823	5,9	265	1,9	6	6
TOTAL		346862	65196	314724	2773,4	20577	180,4	5561	46,6	144,9	144,9
PROMEDIO		11362,1	2173,2	10490,8	92,4	685,9	6	185,4	1,6	4,8	4,8

Total llamadas entrantes



SÍGUENOS: @Taxi322222



Información de llamadas Junio 2017

Junio 2017		%
TOTAL	425621	100%
FIJO	246324	58%
CELULAR	179297	42%
OPERADOR	149462	35%
AUTOMÁTICO	276159	65%

SÍGUENOS:   @Taxi3222222



Anexo D. Aplicación del modelo matemático con Open Solver

Ciudad completa con open solver - Microsoft Excel

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
							FOmax	9,9991219										
							1x	1	0,9999	1x	1	0,9999293	1x	1	0,99999	1x	1	0,99996
							Xij	Distancia	Dist*Xij	Xij	Distancia	Dist*Xij	Xij	Distancia	Dist*Xij	Xij	Distancia	Dist*Xij
3	Cantidad de Clientes	Cantidad de Vehículos	CoordXVeh	CoordYVeh	Estado del vehículo													
4	-43	73	1	-67	-128	0	0	202,42776	5600,05600	0	136,82105	182	0	398,84333	5600,05600	0	196,7257	5600,05600
5	-31	4	2	-397	-170	1	0	429,37746	0	0	405,25547	0	0	392,39011	0	0	427,67394	0
6	-67	54	3	-430	-95	0	0	421,89217	0	0	411,09853	0	0	202,48457	0	0	421,38462	0
7	-41	67	4	-237	-56	0	0	232,97425	0	0	214,56001	0	0	90,049986	0	0	231,39793	0
8	-74	36	5	-64	144	0	0	74,040529	0	0	143,83671	0	0	234,17301	0	0	80,361682	0
9	-43	7	6	167	45	0	0	211,85844	0	0	202,2004	0	0	419,40076	0	0	209,16023	0
10	-14	49	7	-403	-197	1	0	450	0	0	422,82975	0	0	170,31739	0	0	448,04018	0
11	-37	93	8	101	82	0	0	144,28098	0	0	153,32319	0	0	232,36068	0	0	142,79006	0
12	-69	44	9	-57	34	1	0	41,436699	0	0	39,698866	0	0	267,2003	0	0	36,674242	0
13	-46	28	10	69	-176	0	0	273,0293	0	0	205,9126	0	0	277,75169	0	0	266,7377	0
14			11	194	-41	0	0	262,9924	0	0	229,45588	0	0	98,949499	0	0	258,62908	0
15			12	3	-16	1	0	100,18483	0	0	39,446166	0	0	328,34433	0	0	93,941471	0
16			13	174	-169	0	0	325,04307	0	0	268,24243	0	0	195,25643	0	0	193,25069	0
17			14	128	64	0	0	171,32668	0	0	169,94411	0	0	131,21738	0	0	169,02663	0
18			15	-34	-73	1	0	146,27713	0	0	77,058419	0	0	356,82068	0	0	140,17489	0
19			16	-422	90	1	0	379,38107	0	0	400,3461	0	0	67,364679	0	0	381,69359	0
20			17	-134	61	0	0	91,787799	0	0	117,72001	0	0	181,43043	0	0	93,193347	0
21			18	102	-12	0	0	168,07736	0	0	133,95895	0	0	72,36712	0	0	163,37074	0
22			19	-138	40	0	0	100,56838	0	0	112,89376	0	0	337,30846	0	0	100,68764	0
23			20	-303	-187	0	0	367,69553	0	0	332,36275	0	0	292,13867	0	0	364,91095	0
24			21	89	-193	1	0	296,95117	0	0	230,67076	0	0	122,77215	0	0	290,68884	0
25			22	-180	6	0	0	152,50574	0	0	149,01342	0	0	272,14886	0	0	151,79592	0
26			23	156	-102	1	0	265,00189	0	0	214,95348	0	0	285,69794	0	0	259,55732	0
27			24	221	85	1	0	264,27259	0	0	350,25848	0	0	332,09938	0	0	262,61759	0
28			25	-384	153	1	0	350,25848	0	0	151,34398	0	0	197	0	0	353,61702	0
29			26	-67	-143	0	0	217,32924	0	0	79,15807	0	0	21,023796	0	0	211,6034	0
30			27	-66	75	0	0	23,086793	0	0	21,023796	0	0	144,06249	0	0	26,248809	0
31			28	-190	129	1	0	157,30544	0	0	202,25232	0	0	163,6704	0	0	161,38463	0
32			29	156	61	1	0	133,06014	0	0	172,67386	0	0	135,36986	0	0	135,36986	0

Ciudad completa con open solver - Microsoft Excel

OpenSolver - Model

What is AutoModel?

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective Cell: \$K\$1 ☐ maximise ☐ minimise ☐ target value: 0

Variable Cells: \$J\$4:\$J\$2313; \$M\$4:\$M\$2313; \$P\$4:\$P\$2313; \$S\$4:\$S\$2313; \$V\$4:\$V\$2313; \$Y\$4:\$Y\$2313; \$AB\$4:\$AB\$2313; \$AE\$4:\$AE\$2313; \$AH\$4:\$AH\$2313; \$AK\$4:\$AK\$2313

Constraints:

<Add new constraint>

\$AN\$4:\$AN\$2313 <= 1

\$L\$4:\$L\$2313 <= 5600

\$O\$4:\$O\$2313 <= 5600

\$R\$4:\$R\$2313 <= 5600

\$U\$4:\$U\$2313 <= 5600

\$X\$4:\$X\$2313 <= 5600

\$AA\$4:\$AA\$2313 <= 5600

\$AD\$4:\$AD\$2313 <= 5600

\$AG\$4:\$AG\$2313 <= 5600

\$AJ\$4:\$AJ\$2313 <= 5600

\$AM\$4:\$AM\$2313 <= 5600

\$M\$2 <= 1

☒ Make unconstrained variable cells non-negative

☒ Show named ranges in constraint list

Sensitivity Analysis ☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:

☐ Output sensitivity analysis: ☐ updating any previous output sheet ☐ on a new sheet

Solver Engine: Current Solver Engine: CBC

☒ Show model after saving

	U	V	W	X	Y
	0,99996	1		0,9998779	1
	Dist*Xij	Xij	Distancia	Dist*Xij	Xij
0	0	0	164,14932	0	0
0	0	0	383,0992	0	0
0	0	0	379,33758	0	0
0	0	0	187,17104	0	0
0	0	0	108,46197	0	0
0	0	0	241,16799	0	0
0	0	0	403,1501	0	0
0	0	0	180,94474	0	0
0	0	0	17,117243	0	0
0	0	0	255,72055	0	0
0	0	0	278,84225	0	0
0	0	0	92,913939	0	0
0	0	0	321,75923	0	0
0	0	0	203,93136	0	0
0	0	0	116,10771	0	0
0	0	0	352,16473	0	0
0	0	0	65	0	0
0	0	0	182,42807	0	0
0	0	0	64,124878	0	0
0	0	0	319,64042	0	0
0	0	0	281,08718	0	0
0	0	0	110,16351	0	0
0	0	0	268,22379	0	0
0	0	0	299,0418	0	0
0	0	0	331,34423	0	0
0	0	0	179,13682	0	0
0	0	0	39,812058	0	0
0	0	0	148,6775	0	0
0	0	0	180,63982	0	0

Anexo E. Call center 3222222 Satelital

